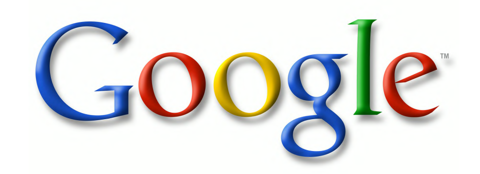
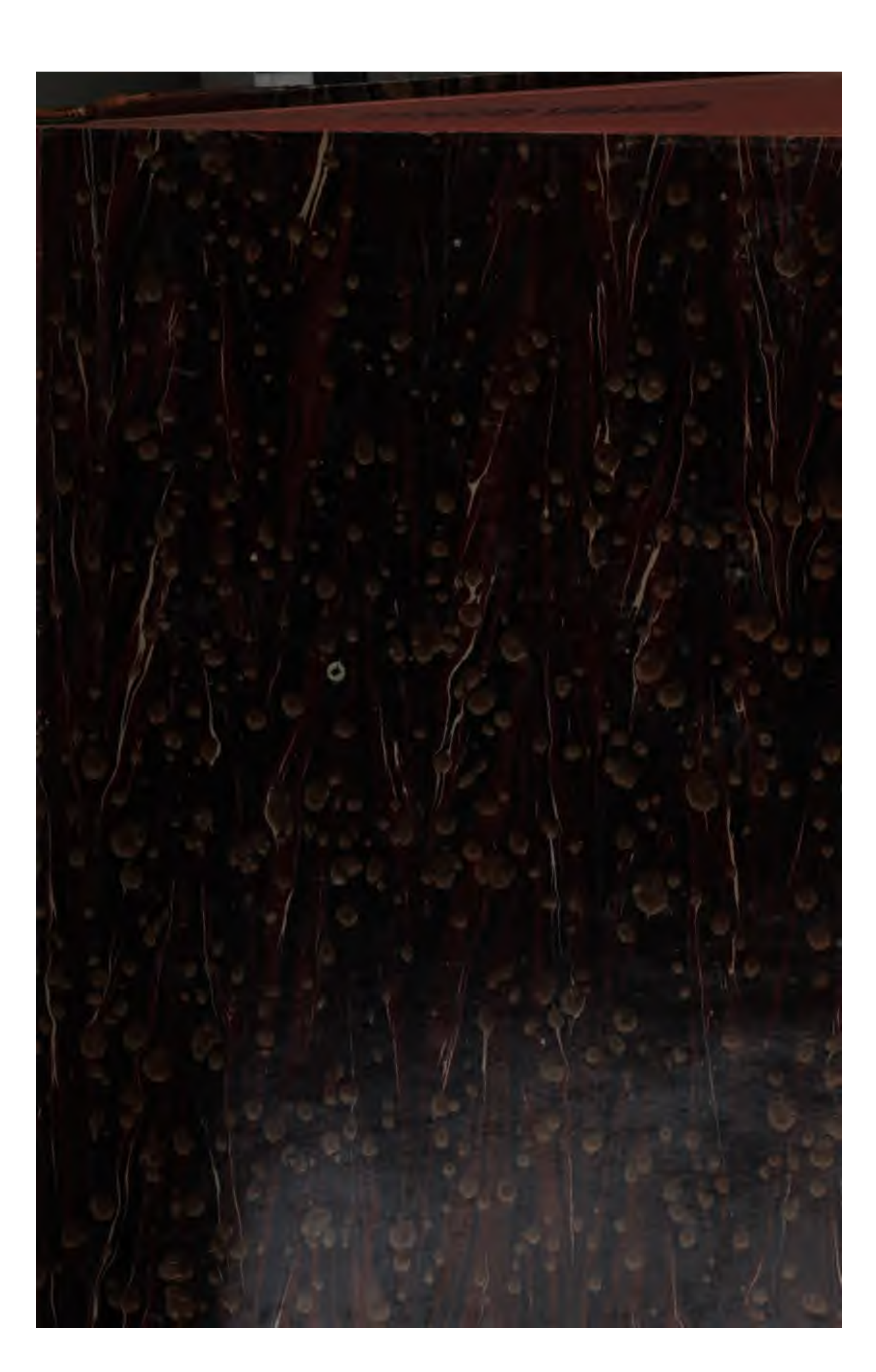








GESCHICHTE

DER

PHYSIKALISCHEN EXPERIMENTIERKUNST

VON

DR. E. GERLAND
PROFESSOR A. D. KÖNIGL. BERGAKADEMIE
IN KLAUSTHAL

UND

DR. F. TRAUMÜLLER
PROFESSOR AM NIKOLAIGYMNASIUM
IN LEIPZIG

MIT 425 ABBILDUNGEN
ZUM GRÖSSTEN TEIL IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN.

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1899.

VORWORT.

Das vorliegende Buch verdankt seine Entstehung dem Wunsche, die Entwickelung eines Zweiges der Geschichte der Physik in eingehender Behandlung vorzuführen, der bisher in zusammenhängender Darstellung noch nicht bearbeitet worden ist. Es will einmal die Wege beschreiben, auf denen die Physik ihre gegenwärtige Höhe erklommen hat, es will sodann die dazu notwendigen Werkzeuge und deren Behandlung schildern. Dieser Versuch dürfte insofern nicht überflüssig sein, als die vorhandenen Geschichten der Physik entweder auf diesen grundlegenden Teil der Forschung nicht eingehen, oder, wenn sie dies thun, ihn in der nötigen Ausführlichkeit darzustellen nicht in der Lage sind. Ihr Gegenstand ist die Entwickelung der physikalischen Lehren selbst, der Nachweis, wie diese erhalten oder bestätigt wurden, dürfte aber eine wichtige Ergänzung für sie sein; diesen zu liefern ist der Zweck unserer Arbeit.

Musste diese deshalb die Fortschritte in den physikalischen Anschauungen stets im Auge behalten, nach Bedürfnis wohl auch auf sie selbst eingehen, so war ihr Schwerpunkt doch in die Darstellung der Apparate und Maschinen in Wort und Bild zu legen, welche die Erkenntnis jener Lehren vermittelten, und so war unser Hauptaugenmerk namentlich auch auf die Abbildung der Originalapparate der Forscher gerichtet, und wir sind der Verlagsbuchhandlung zu besonderem Danke verpflichtet, dass sie uns dabei den weitesten Spielraum gewährte. Soviel wie möglich haben wir die Originalabbildungen reproduziert oder Zeichnungen nach noch vorhandenen Originalapparaten aufgenommen, deren Beschreibungen aber, so oft es thunlich erschien, in Übersetzungen des Urtextes oder in diesem selbst gegeben. Wir haben dabei vieles in neuer Bearbeitung liefern, nicht wenige bisher unbekannte oder vergessene Thatsachen ans Licht ziehen können, wovon sich der sachkundige Leser leicht überzeugen wird.

Bei dem Ziele, das wir uns gesteckt hatten, waren biographische Angaben fernzuhalten. Nur die Lebenszeit der betreffenden Forscher haben wir in Klammern zugefügt, da oft nur durch sie die Zeitbestimmung einer Erfindung gegeben wird. Die Einteilung des Stoffes musste sich dagegen vielfach an einzelne Forscher anschließen, wenn diese die Träger der Fortschritte ihrer Zeit waren. Doch bilden sich wiederum Gruppen, denen wir auf gleiche Ziele gerichtete Arbeiten und Erfindungen verdanken, wie solche sich als gleichzeitige infolge der angeregten Fragen von selbst ergeben. Die Bestimmung der Grenzen, bis zu welchen wir unsere Untersuchungen fortführen zu sollen geglaubt haben, findet der Leser im Buche selbst angegeben.

Die Verfasser.

INHALTSVERZEICHNIS.

FIGUREN-VERZEICHNIS.

EINLEITUNG.

Nicht ein bequemes Leben ist es, das dem Menschen auf Erden beschieden wurde. Schon von allem Anbeginn an hat er nicht nur der widerstrebenden ihn umgebenden Natur, sondern auch je länger je mehr den mitbewerbenden Nebenmenschen gegenüber für sein Dasein kämpfen müssen. Auch seine eigene Natur setzte unter Umständen, wie Erkrankungen, seinem Streben Schranken. Um den Kampf mit diesen Gegnern siegreich bestehen zu können, bedurfte er der Werkzeuge, bedurfte er der Waffen. Dass er solche sich anzueignen, sie zweckmäßig zu benutzen, ja sie sogar herzustellen lernte, war ein Vorzug, der ihn über das Tier erhob. Nur mit diesen Hilfsmitteln war er im Stande sich die Natur dienstbar zu machen, konnte es seinem Stamme, seinem Volke gelingen, über Mitstrebende sich zu erheben. So ist denn auch jetzt noch die zweckmäßigere Waffe die beste Gewähr des glücklichen Ausgangs eines Krieges. Aber sie ist es nicht allein; genaue Kenntnis der Eigenart des Feindes, seiner Hilfsmittel, seiner Stellung und seiner Bewegungen sind ebenso bedeutsam für den endgültigen Sieg, als dessen Preis die freie Entwickelung des Siegers winkt.

Feindselig ist zunächst die Art, wie die Natur dem Menschen gegenüber tritt, sie musste er also kennen zu lernen suchen; doch bleibt sie es nicht, sobald ihn vorschreitende Erkenntnis eines Besseren belehrt. Solche aber ist wiederum nichts anderes wie fortschreitende Kultur, und so ist es keineswegs den Thatsachen entsprechend, wenn man die Kultur als Feindin der Natur betrachtet. Naturerkenntnis erlangt man nur mit Hilfe von Werkzeugen, mit Hilfe von Instrumenten der verschiedensten Art; von deren Vervollkommnung hängt demnach die Entwickelung der Kultur ab. Gewiss war ein großer Fortschritt gemacht, als der Mensch das Pferd für seinen Dienst gewonnen, ein Kulturfortschritt war es aber erst, als er den Wagen erfunden hatte, mittelst dessen es seine Habe fortzog oder den Pflug, der seine Kraft für die Bearbeitung des Bodens nutzbar machte. Welch einen gewaltigen Fortschritt bezeichnet wiederum die Erfindung, die die Dampfkraft zur erfolgreichen Überwindung von Raum und Zeit befähigte! Keine andere hat unsere Lebensweise auf so tief eingreifende Art wie diese verändert. Es würde nun ein großer Irrtum sein, der allerdings noch hier und da festgehalten wird, wollte man annehmen, dass sie dem Menschen

als reife Frucht in den Schoß gefallen wäre; sie war der Lohn mühevoller und eindringender Arbeit, und es zeugt von geringer Kenntnis der in Betracht kommenden Verhältnisse, wenn man glaubt, der Zufall habe hier sein launenhaftes Spiel getrieben. Nur durch folgerichtiges Reihen von Schluss an Schluss, und durch wachsendes Erschließen des Zusammenhanges der natürlichen Dinge durch sachgemäß angestellte Beobachtungen und Versuche konnten solche Fortschritte gemacht werden, und so sind stets Beobachtungen und Versuche die Grundlage gewesen von jeder weiterschreitenden Erkenntnis der Natur. Die dafür nötigen Instrumente, also die Werkzeuge und Waffen, und die Betrachtung ihrer fortschreitenden Vervollkommnung ist somit einer der wichtigsten Abschnitte der Kulturgeschichte.

Es könnte auffallen, dass eine solche bisher so wenig Berücksichtigung gefunden hat. An geschichtlichen Darstellungen der Fortschritte in unserer Kenntnis von der Natur, wie der Astronomie, der Physik, der Chemie, fehlt es nicht; es wird wohl dabei auch der Instrumente und ihrer Vervollkommnung gedacht, aber den Mittelpunkt der Betrachtung abzugeben — davon sind sie weit entfernt. Dies dürfte darin seine Erklärung finden, dass die Beobachtungen und Versuche ja nur zu einem bestimmten Zweck angestellt werden und uns, was gefunden wird, in viel höherem Maße interessiert, als wie es gefunden wurde. Wer freut sich nicht über den herrlichen Stoff, den er sich zum Prunkgewande ausgesucht hat, aber wer weiß, ja wer fragt auch nur darnach, wie er verfertigt worden ist! Und doch ist jeder überzeugt, dass das Gewebe ohne den Webstuhl nie erhalten worden wäre.

Bleibt demnach eine empfindliche Lücke in unserem Wissen, wenn wir die Mittel nicht kennen, mit denen von uns Bewundertes erreicht ist, so ist auch die Erkenntnis der Ergebnisse der Naturwissenschaften eine ganz unvollständige, wenn die Mittel zu ihrer Erlangung im Dunkeln bleiben. Die volle Kenntnis der Geschichte der Physik fordert also eine Geschichte der physikalischen Instrumente und ihres Gebrauches, und darin sehen wir die Berechtigung für den Versuch, der hier gemacht werden soll, eine solche zu geben.

Die Forscher des Altertums und des Mittelalters stellten sich ihre Apparate gewöhnlich selbst her; doch berichten Heron und Philon, dass es schon zu ihrer Zeit Mechaniker, d. h. Verfertiger physikalischer Apparate gegeben habe, und dass manche von ihnen eine große Geschicklichkeit besessen hätten. Die Herstellung astronomischer Instrumente wurde den Metallarbeitern, hauptsächlich den Goldschmieden, deren Kunst schon im Altertum in hohem Ansehen stand, übertragen; die eigentliche Präzisionsarbeit dagegen, wie die Teilung der Kreise, die Zusammenstellung der Instrumente u. s. w. mögen damals wohl die Gelehrten selbst und ihre Gehilfen besorgt haben. Das mag sich während vieler Jahrhunderte nicht geändert haben, und so dürften die Anfänge der eigentlichen mechanischen [illegible]t, als eines selbständigen Gewerbes erst in die Zeit der Erfindung der

Räderuhren fallen, und die ersten bedeutenden Mechaniker aus dem Kreise der Uhrmacher hervorgegangen sein.

Indem wir uns nun zu der Geschichte der Experimentierkunst wenden, tritt uns bei dem Bestreben, unsern Stoff einzuteilen, sogleich die Schwierigkeit entgegen, dass wir gezwungen sind, Abschnitte zu machen, wo in Wirklichkeit solche nicht bestehen. Denn unaufhaltsam schreitet die Geschichte vorwärts, in ununterbrochener Reihenfolge reiht sich Ereignis an Ereignis, und nirgends bilden sich Ruhepunkte, die eine bequeme Einteilung in einzelne Abschnitte ermöglichen. Im Verhältnis leicht gliedert sich der Stoff, den die politische Geschichte zu überliefern hat. Das Auftreten eines neuen Reiches, an die Person eines Herrschers oder eines Staatsmannes geknüpft, ein Friedensschluss, die Thronbesteigung eines Regenten und ähnliche Ereignisse bieten Marksteine, die eine solche Gliederung von selbst fordern. Ganz anders auf dem Gebiete der Geschichte der Wissenschaft und der Kulturgeschichte! Nicht nur, dass es unmöglich ist, sie nach dem Anteil, den die einzelnen Völker an ihrem Fortschritte nehmen, vorzutragen, alle Entdeckungen und Erfindungen, die man als neue Epochen einleitende zu betrachten geneigt sein möchte, treten weder unvermittelt auf, noch kommen sie sogleich zu allgemeiner Geltung. Oftmals ein letztes Ergebnis einer Menge von Arbeiten, deren Urhebern das größere Verdienst zuzusprechen ist, wird die neue Entdeckung gewöhnlich ihrem vollen Werte nach gar nicht gewürdigt, und lange dauert es, bis sie zu allgemeiner Anerkennung durchdringt. Wie wenig ist der Erfinder sich der Tragweite seiner Arbeit bewusst, und ist er es, so gelingt es ihm, wenn überhaupt, dann nur mit vieler Mühe, die Zeitgenossen davon zu überzeugen.

Solche Schwierigkeiten treten freilich in der alten und mittleren Geschichte weniger hervor, da in ihr einzelne Völker die Träger der Fortschritte während längerer Zeiträume sind, anfangs die Babylonier und Ägypter, dann die Griechen und mehr rezeptiv die Römer, endlich die das Wissen des Altertums aufbewahrenden und immer wieder von neuem erklärenden Araber, obwohl auch sie einige Fortschritte selbständig machen. In noch höherem Maße ist das scholastische Mittelalter auf die Leistungen früherer Zeiten angewiesen, bis Galilei die Verwertung der Beobachtung und des Versuches für allgemeine Folgerungen erkennend die neue Zeit einleitet, in der geänderte Verhältnisse zur Geltung gelangen.

Sind es von dieser Periode ab alle Kulturvölker, die je nach der Höhe der von ihnen erlangten Bildung an der fortschreitenden Arbeit Teil nehmen, so treten uns aus ihrer Mitte wiederum einzelne große Männer entgegen, die ihrer Zeit den Stempel ihres Geistes aufdrücken und die Richtung der Arbeiten bestimmen. So sind es nach Galilei und Keppler Huygens, Newton und Leibniz, die das Licht unermesslichen Fortschritts bringen. Der Wucht ihres Geistes kann sich das ihnen folgende Jahrhundert nicht entziehen, bis unser Jahrhundert sich zu neuer Selbständigkeit aufrafft und mit seinen Entdeckungen ganz neue Lebensverhältnisse zur Geltung bringt.

Die in ihm verwendeten Apparate ändern sich aber in zu geringem Maße, als dass es thunlich erschiene, sie in größerer Zahl in unsere Darstellung hereinzuziehen. Sind sie doch zum großen Teile noch in die jetzt gebräuchlichen Lehrbücher aufgenommen. Aber hier schreiten einzelne Lehren, namentlich die von der strömenden Elektrizität, rascher fort als andere und holen in kurzer Zeit nach, was andere in vorhergehenden Jahrhunderten vollbrachten. Ihre frühesten Apparate und die Art, mit ihnen zu experimentieren, veralteten somit rasch, und sie werden so Gegenstand unserer geschichtlichen Darstellung. So sind die einzelnen Lehren bis zu verschiedenen Zeiten zu verfolgen und da zu verlassen, wo die Lehrbücher unserer Zeit einsetzen.

I.
Geschichte der Experimentierkunst im Altertum.

Die Babylonier und Assyrer.

Jahrtausende vor der Zeit, bis zu welcher die ersten geschichtlichen Nachrichten aus europäischen Ländern reichen, bestanden in der damals wohl bewässerten und fruchtbaren Tiefebene von Mesopotamien bereits Reiche von hochentwickelter Kultur. Als deren älteste Träger treten uns die Babylonier oder Chaldäer entgegen, von ihnen überkamen sie die Assyrer. Die stark bevölkerten und prachtvollen Hauptstädte beider uralter Völker, Babylon und Ninive, liegen freilich in Trümmern, aber aus diesen Trümmern hat man eine reiche Ausbeute von Gegenständen hervorgeholt, welche zeigen, auf wie hoher Stufe Industrie und Gewerbe ihrer Bewohner standen und man hat nachweisen können, dass sie bis nach Indien und in späterer Zeit nach Westasien und Griechenland mit deren Erzeugnissen schwunghaften Handel trieben; dass ein enger Verkehr auch mit Ägypten bestand, erzählen uns die ägyptischen Urkunden. Namentlich sind es vortreffliche Thonarbeiten, die uns von ihnen erhalten blieben, man weiß ja, dass Chaldäer und Assyrer ihre Urkunden in Ziegelsteine eingruben. Aber auch emailartige Glasflüsse verstanden sie herzustellen und in den Grabstätten der biblischen Ur (gegenwärtig Mugheir) hat man Werkzeuge und Lampen, Goldschmuck und Kupfergeräte, Bastmatten, Leinengewebe und Stickereien gefunden, die noch jetzt unser Staunen erregen. Ja sogar Eisen konnten sie verarbeiten, wie nicht nur aus dem Inhalte von Keilinschriften zu entnehmen ist, sondern auch die Funde eiserner Panzer und Helme beweisen.

Ebenso waren sie tüchtige Baumeister, deren Kühnheit uns unter anderem der Plan des Birs Nimrud (Turm des Nimrud) bewundern lässt. Sie ver-

wendeten bereits Bogengewölbe, wie auch die Ägypter, die sie von ihnen kennen gelernt haben mögen. Sie und nicht die Etrusker, wie man lange annehmen zu müssen glaubte, sind also deren Erfinder. Derartige Bauten aber setzen eine Reihe mathematischer Kenntnisse und namentlich den Besitz eines brauchbaren Maßsystemes voraus. Ein solches, wohlausgebildetes hatten sie in der That. Seine Grundlage bildete nach Boekh[1]) die räumliche Ausdehnung eines Würfels Regenwasser, dessen Gewicht als Gewichtseinheit, dessen Seite als Längeneinheit (Elle) angenommen war, während Lehmanns[2]) Annahme, die Länge der babylonischen Elle sei von der Länge des Secundenpendels hergeleitet, wenig wahrscheinlich ist. Gewährte dieses Maßsystem somit seinen Besitzern den Vorteil des modernen metrischen, dass Längen- und Gewichtsmaße auseinander herzuleiten waren, so wurde es, was dieses für die neue Zeit bis jetzt vergeblich erstrebt, durch die Gunst der Umstände auch das Weltmaß des Altertums. Mit der Kultur nahmen die alten Völker auch die Maße der Chaldäer an und keines der etwa sonst vorhandenen Maße hat sich jenen gegenüber behaupten können.

Ihre mathematischen Kenntnisse ermöglichten den Chaldäern die folgerichtige und vollständige Durchführung dieses Maßsystemes, sie setzten sie überdies in den Stand, ihre astronomischen Beobachtungen zu verarbeiten. Der Astronomie aber wandten sie eifrige Pflege zu. Mit ihrer Ausübung waren die Priester betraut, welche über die nötige Muse verfügend, ihre Beobachtungen durch viele Generationen ausdehnen und so eine Anzahl Beziehungen erschließen konnten, die namentlich für die Kalenderberechnungen aller folgenden Zeiten grundlegend geworden sind. Ihnen verdankt man auch die siebentägige Woche. Für die Folgezeit gingen ihre Beobachtungen keineswegs verloren, vielmehr haben sie die griechischen Astronomen mit Vorteil benützen können, und wenn es auch nicht erwiesen ist, dass mit ihrer Hilfe der Milesier Thales eine Sonnenfinsternis berechnet hat, so geht doch aus dem Zeugnisse des Hipparch hervor[3]), dass die Griechen mit der chaldäischen Astronomie bekannt geworden waren. Diese Bekanntschaft hat unter anderen der Chaldäer Berosus vermittelt, welcher sich zur Zeit Alexanders des Großen in Kos niederließ, Athen besuchte und mit den griechischen Sternkundigen vielfach verkehrte.

Auf ihren Sternwarten beobachteten die chaldäischen Priester nicht nur den Lauf von Planeten und Kometen, sie legten auch Sternörter fest. Zu diesen Zwecken benutzten sie die bis in späte Zeiten noch im Gebrauche befindlichen Wasseruhren (Klepsydren), eben jene mit Wasser ge-

---

1) Boekh, Metrologische Untersuchungen über Gewichte, Münzfuße und Maße der Alten in ihrem Zusammenhange. — Karsten, Allgemeine Encyclopädie der Physik. I. 421.

2) S. C. F. Lehmann, Über das babylonische metrische System und dessen Verbreitung (in den Verhandlungen der physik. Ges. zu Berlin. 8. Jahrg. 1889. Nr. 15. S. 81).

3) Fragm. hist. G. Muell. II. S. 495. 509 ff.

füllten und einem Loch von bestimmten Durchmesser versehenen würfelförmigen Gefäße, deren Seite ihnen die Elle lieferte. Die Sonnenhöhen und die wahre Mittagszeit aber bestimmten sie mit Hilfe von Gnomonen oder Sonnenzeigern, horizontalen Kreisteilungen, über deren Mitte ein Stift senkrecht aufgestellt war, dessen sich mit den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten ändernde Schattenlängen die nötigen Werte lieferten.

Dass sie Fernröhre mit Linsen gehabt hätten, daran ist nicht zu denken. Man hat es mit Unrecht wohl aus dem allerdings höchst überraschendem Funde einer planconvexen Linse aus Bergkrystall geschlossen, welche Layard[1]) in den Ruinen von Niniveh in der Umgebung von bronzenen und sonstigen kostbaren Gegenständen vom Alter der assyrischen Hauptstadt aufdeckte. Sie befindet sich im britischen Museum, ist 0,2 Zoll engl. dick und besitzt eine Brennweite von 4,2 Zoll. Regelmäßig geschliffen ist sie aber nicht, denn ihr größter Durchmesser beträgt 1,6, der dazu senkrechte 1,4 Zoll. Man wird mit der Vermutung nicht fehlgehen, dass das merkwürdige Stück als Brennglas verwendet wurde, wie solche die Griechen nachweislich schon zu Sokrates Zeiten benutzten. Ganz unbewandert in der Optik können also die Assyrer und dann gewiss auch die Chaldäer nicht gewesen sein.

Die Ägypter.

Neben den Babyloniern und Assyrern waren die Ägypter das wichtigste Kulturvolk der ältesten Zeiten. Man hat auf Grund der vielen wohlerhaltenen Urkunden, deren Inhalt man früher, wie den der babylonischen kennen lernte, sogar die ägyptische Kultur für die ursprüngliche gehalten, von der die babylonische herzuleiten sei. Jetzt freilich weiß man, dass sich die Sache umgekehrt verhält. Haben nun also auch die Ägypter von den Babyloniern, wie es bei dem regen Verkehr zwischen beiden Völkern nicht ausbleiben konnte, vieles übernommen, so haben sie das Gelernte doch völlig selbständig weiter gebildet, haben nicht wenig neues zugefügt.

Davon, dass ihre Maße aus Babylon stammten, will Lepsius[2]) freilich nichts wissen. Er nimmt vielmehr an, dass beide im Gebrauch befindliche Ellen, deren Längen sich wie 6 : 7 verhielten, die ursprünglich in Ober- und Unterägypten ausgebildeten Grundmaße seien. Wäre das richtig, so müssten die Babylonier, bei denen beide Längenmaße auch im Gebrauche waren, sie von den Ägyptern erhalten haben. Dagegen spricht jedoch das höhere Alter der babylonischen Kultur, spricht die einfache Art, wie sich beide Maße aus den Wasseruhren der Chaldäer herleiten lassen. Auch diese finden wir bei den astronomischen Beobachtungen der Ägypter, die

1) A. H. Layard, Niniveh and its remains. London 1849. Vgl. Harting, Het Mikroskoop. Utrecht 1850. Deel. 3. S. 6.

2) Lepsius, Die altägyptische Elle und ihre Einteilung. Abh. d. Königl. Akad. d. Wissensch. in Berlin 1865. S. 52.

wie in Babylon die Priester anstellten, im Gebrauch. Doch hielten die Priester ihre Kenntnisse, wie die, welche sie auf anderen Gebieten erwarben, geheim, und sicherten sich so ihr Übergewicht über das Volk.

Dem Klima des Nilthales, dessen verwesungsfeindlicher Trockenheit die Gewohnheiten seiner Bewohner entgegenkamen, ist es zu danken, dass wir gegenwärtig über eine Fülle von Gegenständen verfügen, welche geeignet sind, uns eine hohe Meinung von der Leistungsfähigkeit Altägyptens in technischen Künsten beizubringen. Seine Bürger waren Meister in Behandlung der Metalle und des Elfenbeins, wie die schönen Arbeiten aus diesen Stoffen in unseren Museen beweisen. Das Gold erhielten sie aus den Quarzgängen der Bergzüge zwischen dem Nil und dem roten Meere, Silber mussten sie einführen und aus diesem Umstande mag es sich erklären, dass es von ihnen in den frühesten Zeiten sogar höher wie das Gold geschätzt wurde. Wie die Kunst des Malers und Bildhauers war die des Goldschmiedes innerhalb derselben Familie erblich. Sie stellten Legierungen durch Zusammenschmelzen von zwei Teilen Gold und drei Teilen Silber her und übten sogar die Kunst des Vergoldens. Dem für den Handel bestimmten geschmolzenen Gold wurde die Gestalt von Ringen von 12 cm Durchmesser gegeben, wie dies aus Fig. 1 ersichtlich ist. Neben den edlen Metallen verwendeten sie Bronze und Eisen. Aus der ersteren waren die meisten Werkzeuge, Gefäße und Waffen hergestellt, das dazu nötige Kupfer holten sie von der Halbinsel Sinai. Die chemische Analyse solcher Bronzen hat ergeben, dass sie ganz verschiedene Zusammensetzung hatten, man hat sogar eine sechsfache Bronze gefunden. Die Werkzeuge zur Bearbeitung sehr harter Steine fertigten sie aus Eisen an. Wie sie dies machten, lehrt uns Fig. 2. Mit dem mittels eines Blasrohres nach Anleitung von Fig. 1 erzeugten Winde, der für das Schmelzen leicht flüssiger Metalle genügende Hitze gab, reichten sie dazu nicht aus. Sie verwendeten deshalb Blasebälge aus Leder, die mit den Füßen getreten wurden. Ein Arbeiter bediente zwei solcher Ledersäcke, von denen je ein Metallrohr zu dem

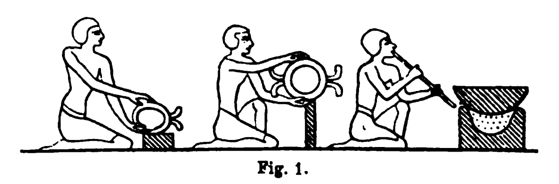


Fig. 1.

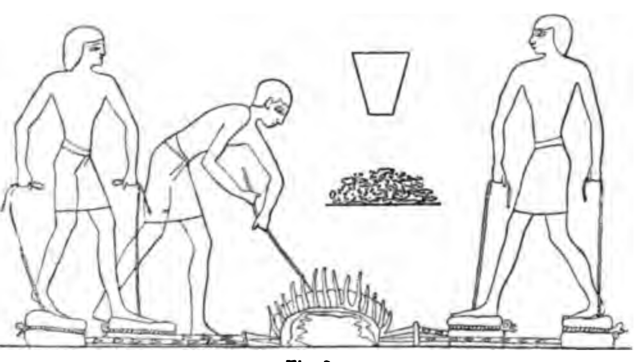


Fig. 2.

Kohlenfeuer führte. Der mit jedem Fuße auf einem solchen Sacke stehende Mann hob abwechselnd das eine Bein und zog mittels einer Schnur Luft schöpfend die Decke des Balges in die Höhe, während das Gewicht seines Körpers gleichzeitig auf dem anderen vorher mit Luft gefüllten ruhte und diese durch das Rohr in das Feuer trieb. Die durch zwei Paar solcher Bälge erzeugte Glut war eine so hohe, dass die Arbeiter nur mittels langer Drähte den Schmelztiegel vom Feuer nehmen konnten[1]. Noch heute sind solche Blasebälge in den Ländern Innerafrikas in den Schmieden im Gebrauch, doch pflegt sie ein vor ihnen kauernder Mann mit den Armen zu bewegen, während der Schmied als Amboß und Hammer Steine benutzt.

Die bei ihnen einheimische, an Sümpfen wachsende Papyrusstaude, lieferte den Ägyptern die Papierrollen, welche uns, nachdem man die Hieroglyphen lesen gelernt hatte, über ihre Geschichte und Kulturverhältnisse in so überraschender Weise aufgeklärt haben. In einfachster Weise wurde die Oberhaut des etwa 4 Ellen hohen Stengels der Pflanze mit einer Nadel abgelöst, die so erhaltenen Streifen wurden aneinander geleimt, getrocknet und geglättet. Erst im 11. oder 12. Jahrhundert n. Chr., als die Papyruspflanze immer seltener wurde, verdrängte ein aus Baumwolle verfertigtes Papier das ältere. Einem neuerdings in Kairo gemachten Funde zufolge scheint man aber in der Mitte des 11. Jahrhunderts in Ägypten auch Papier aus Leinfaser gemacht zu haben.

Prächtig gefärbte Glasflüsse, die als künstliche Edelsteine benutzt wurden, und namentlich ihre beiden Lieblingssteine, den Lapis Lazuli und den Malachit, nachahmten, aber auch Gefäße aller Art, welche uns erhalten worden sind, beweisen, dass den alten Ägyptern auch die Kunst der Töpferei, der Glas- und Porzellanbereitung nicht fremd war. Wann das Glas erfunden wurde, hat sich allerdings bisher nicht feststellen lassen, für das älteste bekannte Glasgefäß sieht man ein im britischen Museum aufbewahrtes, welches den Namen Dehutmoses III trägt, an. Die Anfertigungsweise der Glasgefäße haben die Bewohner der Nilufer uns in bildlichen Darstellungen aufbewahrt, die Fig. 3 und 4 wiedergeben. Auf der einen sieht man zwei Arbeiter, die um ein Feuer sitzen und in Röhren blasen, an deren unteren Enden grüne Glaskugeln hängen, die andere zeigt rechts einen ebenso beschäftigten, links aber zwei andere, welche einen großen Krug in Bearbeitung haben. Funde aus den Ruinen von Theben und Beni Hassan beweisen ferner, dass die Ägypter auch die Kunst Glas zu schneiden und zu schleifen wohl verstanden.

Ihre Glasgefäße befähigten sie zur Ausführung der Arbeiten, welche sie zu Schöpfern der Chemie gemacht haben. Hatten dieselben wohl auch in erster Linie die Herstellung der mannigfachen Heilmittel zum Zweck, die bei ihnen im Gebrauche standen, so kamen sie doch dabei auf Verfahrungs-

1) A. Erman, Ägypten und ägyptisches Leben im Altertum. Berlin 1885/87. II. Bd. S. 592—634.

weisen, die auch jetzt noch in der genannten Wissenschaft von grundlegender Bedeutung sind. So übten sie die Destillation aus, und den dazu benutzten Apparat, wie solcher in einem alten Tempel in Memphis noch

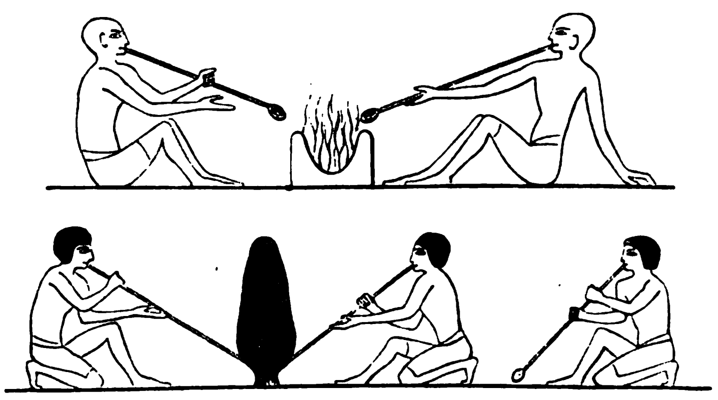


Fig. 3 und 4.

im 5. Jahrh. n. Chr. erhalten war, schildert der Alexandriner Zosimus nach eigener Anschauung. Hoefer[1]) giebt nach einem in der Pariser Nationalbibliothek aufbewahrtem Manuskript die folgende durch Fig. 5 erläuterte Beschreibung davon:

»Mache drei Metallröhren (*f*), deren Wände ziemlich dicht sind und eine Länge von 16 Ellen (?) haben. Die Öffnungen an der unteren Seite des Ballons (*d*) müssen genau den Röhren sich anpassen, die selbst wieder in kleine Ballons (*e*) auslaufen. Eine weite Röhre (*c*) stellt die Verbindung des Kolbens (*b*) mit dem großen aus Glas bestehendem Ballon (*d*) her und der Apparat schafft — eine sonderbare Erscheinung — den Spiritus (*πνεῦμα*) in die Höhe. Nachdem die Röhren angebracht sind, verkittet man sorgfältig alle Verbindungen. Man muss Sorge tragen, dass der große Glasballon, der über den Kolben gestülpt ist, hinreichend widerstandsfähig gegen die Wärme sei, die das Aufsteigen des Wassers bewirkt, damit er nicht zerbricht.«

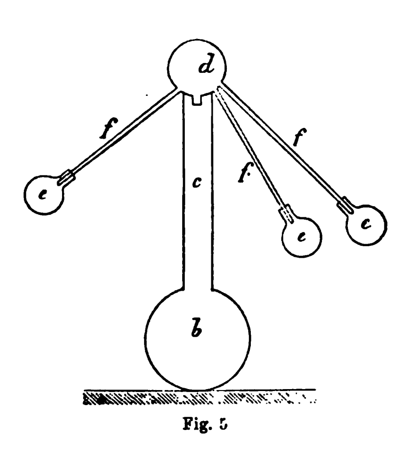


Fig. 5

Der ganze Apparat wurde auf einen Ofen (*τὰ φῶτα*) gestellt. Der Kolben (*b*) war aus Thon, die großen und kleinen Ballons waren immer aus Glas verfertigt, die Röhren bestanden aus Metall oder Thon.

1) S. Hoefer, Histoire de la Chimie, Paris 1866, p. 263.

Bei ihren chemischen Versuchen mögen sie wohl auch von zwei anderen Apparaten gelegentlich Gebrauch gemacht haben, die auf ihren Darstellungen uns begegnen, vom Heber und von der Wage. Öfter noch verwandten sie sie ohne Zweifel bei den Geschäften des gewöhnlichen Lebens und des Handels.

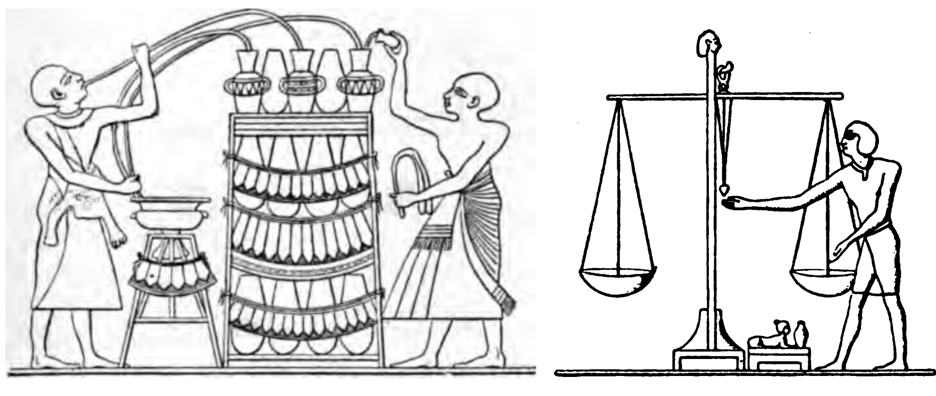


Fig. 6 Fig. 7.

Den Heber zeigt uns unzweifelhaft die aus der Zeit der XVIII. Dynastie stammende Fig. 6, die Wage ist in Fig. 7 dargestellt. Unterscheidet sich jener nicht von den noch jetzt gebräuchlichen Apparaten seiner Art, so fehlt dieser die spätere Zuthat der Zunge. Die ägyptische Wage war eine gleicharmige Hebelwage, die an einem Haken hing. Statt der Zunge erlaubte ein an ihrem Balken befestigtes Senkel dessen horizontalen Stand zu beurteilen. Die Gewichte bestanden aus Granit, Blei, Hämatit, Bronze und Alabaster, besaßen Inschriften und hatten die Form eines Kuhkopfes, eines Löwen oder eines Kegels.

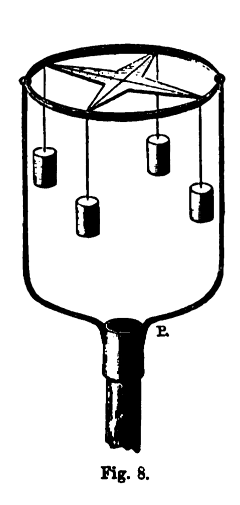


Fig. 8.

Bei einem Volk, das die bewundernswürdigsten Bauten der Welt ausgeführt hat, wird man erwarten dürfen, Instrumente, die den Architekten oder Geometer in den Stand setzten, die Plätze für die Fundamente abzustecken, zu finden. In der That besaß Ägypten dazu die »Stora«, die groma, d. i. Messstange der Römer. Nebenstehende Fig. 8 zeigt, dass sie aus einem Stern bestand, dessen vier sich unter rechten Winkeln kreuzende Arme an ihren Spitzen an Fäden hängende Bleisenkel trugen und zum Einvisieren rechter Winkel benutzt wurden, indem man den den Stern tragenden Bügel auf eine Messstange setzte. Bei starkem Wind muss sich nicht gut damit haben beobachten lassen, deshalb verbesserte ron, wie später genauer gezeigt werden wird, indem er die Senkel

durch vollkommenere Visiere ersetzte und schuf so das Instrument, das er Diopter nannte[1]).

Erwähnen wir endlich noch, dass die Ägypter auf ihren Schiffen auch bereits Rollen verwendeten, deren Erfindung man gewöhnlich dem Pythagoräer Archytas zuschreibt, so haben wir die Apparate kennen gelernt, welche wir ihnen verdanken, Apparate, welche auch jetzt noch zu den alltäglichsten und häufigst angewendeten gehören.

Die Griechen und Römer.

1. Die Griechen bis Aristoteles.

Die wunderbare Begabung des griechischen Volkes, welche es zu den herrlichsten Leistungen in Kunst und Wissenschaft befähigte, glaubte man nicht hoch genug anschlagen zu können. Auftauchend aus mythischem Dunkel sah man es in wenigen Jahrhunderten eine Höhe ersteigen, die alles was die Völker vor ihm erreicht hatten, weit hinter sich ließ. Und so eigenartig waren seine Werke, dass man den Genius der Hellenen allein für fähig hielt, sie hervorzubringen, dass man jeglichen Einfluss des Orientes auf sie ausschließen zu müssen meinte. Wenn dies nun auch hinsichtlich der Kunstwerke möglich schien, so geriet man bei Betrachtung des wissenschaftlichen Nachlasses in ein eigentümliches Dilemma. Verfügten die griechischen Philosophen doch schon bei ihrem ersten Auftreten über einen so großen Wissensschatz, dass die Annahme, sie hätten ihn selbst erworben, unmöglich gemacht werden konnte. Da wir ihre Urschriften aber nicht mehr besitzen, hinsichtlich ihrer nur auf die Inhaltsangaben aus viel späterer Zeit angewiesen sind, so half man sich mit der Annahme, dass diese nicht völlig zuverlässig seien, dass sie vielmehr die Errungenschaften späterer Zeiten auf jene frühere übertragen hätten. Seit jedoch die ersten Wurzeln griechischer Kunst im Orient haben nachgewiesen werden können, seit das reiche Wissen der Chaldäer bekannt, ihre Verbindung namentlich mit den kleinasiatischen Griechen in sehr früher Zeit über jeden Zweifel erhoben wurde, hatte der verhältnismäßig hohe Stand namentlich der astronomischen Kenntnisse jener ältesten Philosophen nichts Überraschendes mehr, und die Notwendigkeit ihre Leistungen herabzusetzen, fiel fort.

Bei dem Unternehmen, die von den Griechen der früheren Zeit angestellten Experimente zu beleuchten, kommt man zunächst zu dem wenig ermunternden Ergebnis, dass in den erhaltenen Schriften von solchen so gut wie gar nicht die Rede ist. Nur bestrebt, je nach dem Standpunkt der Zeit eine einheitliche Weltanschauung, ein philosophisches System, zu liefern, scheint es als ob ihre Forscher diesen wichtigsten Teil ihrer Arbeit

---

1) S. A. de Rochas, Les origines de la science et ses applications. Paris (ohne Jahreszahl, ca. 1884). p. 233.

ganz außer acht gelassen hätten, ein Vorwurf, der ihnen in der That gemacht worden ist[1]).

Indessen verhält sich die Sache in Wirklichkeit doch etwas anders. Wie Faye[2]) es unternehmen konnte, aus den zu den verschiedensten Zeiten von Moses an aufgestellten kosmogonischen Theorien auf die zur Zeit ihrer Konzeption vorhandenen Kenntnisse von der Erde und ihrer Umgebung zu schließen, so ist es auch möglich, aus den aufeinander folgenden philosophischen Systemen der Griechen deren physikalische Kenntnisse zu entnehmen. Da diese aber auf gemachten Beobachtungen und angestellten Versuchen beruhen, so ergiebt sich aus jenen auch der Standpunkt der Experimentierkunst ihrer Zeit. In der That begegnen wir mancher für dieses Ziel ohne weiteres zu verwertenden Bemerkung und bedenkt man, dass in den Zeiten der griechischen Philosophen bis auf Aristoteles so gut wie gar keine experimentellen Kenntnisse vorhanden waren, die einfachsten physikalischen Thatsachen also noch zu entdecken und zu prüfen waren, so wird man nicht sowohl darüber erstaunt sein, dass die Griechen so wenig, als vielmehr, dass sie so viel experimentiert haben.

Nach Aristoteles, der in seinen Werken das Gesamtwissen seiner Zeit abschließend zusammenfasst, ändert sich dies freilich mit dem ihm der Zeit nach am nächsten stehenden Forscher. Mit Archimedes tritt der erste experimentelle Forscher im Sinne der Neuzeit auf, der darauf verzichtet weitere Folgerungen aus seinen Versuchen zu ziehen, als deren sachgemäße Betrachtung ergiebt. Sein Name hat sich deshalb auch noch in unseren Lehrbüchern erhalten. Ihm folgen die Alexandrinischen Weisen, während sich die Römer nur rezeptiv und etwa Vorhandenes zusammenfassend bemühen. Unsere Betrachtungen sind also so anzustellen, dass wir vor Aristoteles und Archimedes die früheren, nachher die späteren griechischen Philosophen zu betrachten haben. Wir beginnen mit der Betrachtung der Arbeiten der ältesten griechischen Philosophen.

Solche finden wir zunächst nicht im Mutterlande, sie treten uns in den Kolonien, bezeichnenderweise in denen Kleinasiens, welche mit dem Orient die meisten Beziehungen haben konnten, entgegen und um uns über solche nicht im unklaren zu lassen, wird uns auch von Reisen berichtet, die jene Philosophen namentlich in Ägypten mit den Hütern der Geheimnisse der Wissenschaft, mit den Priestern, zusammenführten. Akustische Versuche sind es, welche als erste ihr Interesse erregen. So wird uns von dem Lesbier Terpander (um 676 v. Chr.) berichtet, dass er der vor ihm sechssaitigen Kithara noch eine siebente Saite gab[3]). Es bedeutet dies nichts anderes, als dass er der bis dahin sechsstufigen Tonleiter einen siebenten Ton zufügte, so dass die Tonleiter nunmehr aus einem Tetrachord und

---

1) **Poggendorff**, Geschichte der Physik. [illegible]
[illegible]ye, L'Origine du Monde. 2. Ed. P[illegible]
[illegible]*holtz*, Lehre von den Tonem[illegible]

einem Trichord bestand, deren Stimmung nach unserer Bezeichnung die folgende war:

$$e \smile f - g - a - h \smile - d' - e'.$$

Pythagoras aus Samos (geb. um 582 v. Chr.), der sich nach mannigfachen Reisen, die ihn ebenfalls nach Ägypten führten, in Unteritalien niederließ, (nach anderen Lichaon aus Samos) soll dann das Trichord zu einem dem ersten gleichen Tetrachord ergänzt und so die erste diatonische Tonleiter aufgestellt haben[1]). Er oder seine Schüler untersuchten sodann die Abhängigkeit der Höhe der Töne von der Länge der sie gebenden Saiten. Sie benutzten eine auf einem mit Maßstab versehenem Resonanzkasten gespannte Saite, unter der ein Steg hin und her geschoben werden konnte[2]) und ist dieser einfache Apparat, das Monochord, demnach der älteste physikalische, dessen Gebrauch wir nachweisen können. Sie fanden, dass die Hälfte der Saite die Oktave, $\frac{2}{3}$ die Quint, $\frac{3}{4}$ die Quart des Tones giebt. den die Saite als Ganzes hören lässt, und dass diese Töne mit der unverkürzten Saite konsonieren. Erst die neuere Physik ist von den Saitenlängen zu den Schwingungszahlen übergegangen[3]). Diesen Beobachtungen so einfacher Zahlenverhältnisse legten die Pythagoräer solchen Wert bei, dass sie sie, wie bekannt, auf die Entfernungen der Planeten übertrugen, dass sie substantiell genommen in der Zahl das Wesen aller Dinge sahen und so freilich die empirische Grundlage, die sie gewonnen hatten, wieder völlig preisgaben.

Zu ganz anderen Anschauungen über die Grundlage alles Seins gelangten die drei Philosophen, welche man als die jonische Schule zusammenzufassen pflegt, Thales (um 575) und die Milesier Anaximander (611—545) und Anaximenes (gest. um 525). Freilich ist weder die von Thales aus Beobachtungen an der Mündung des schlammreichen Mäander gebildete Ansicht, dass das Wasser, noch aus der vertieften Anschauung Anaximanders, dass die ἀρχή, der Urstoff, das Grundprinzip alles Seins sei, geeignet auf den Umfang der physikalischen Kenntnisse, über welche beide verfügten, einen Schluss ziehen zu lassen. Mehr ist dafür aus der von Anaximenes vertretenen Lehre, die Luft sei die »wahre Ursache«, der letzte Grund aller stofflichen Veränderungen, zu entnehmen. Setzt sie doch einige Kenntnisse der Eigenschaften der Luft voraus. Nach Aristoteles[4]) Mitteilungen war der Schüler des Anaximander der Ansicht, dass die verschiedenen Stoffformen ihr besonderes Gepräge durch »Verdünnung« (μάνωσις oder ἀραίωσις) und durch »Verdichtung« (πύκνωσις) erhielten. Durch den ersteren Vorgang entsteht aus der Luft das Feuer, durch den zweiten folgeweise Wind, Wolken, Regen und Wasser, Erde und Gesteine. Verdünnung sollte mit Erwärmung, Verdichtung mit Ab-

1) Helmholtz, a. a. O. S. 421. 2) Helmholtz, a. a. O. S. 26.

3) Helmholtz, a. a. O. S. 2. — Zeller, Geschichte der griechischen Philosophie. 1. Hälfte. S. 401. 4) Aristoteles, Phys. I. 4.

kühlung identisch sein[1]) und so begegnen wir hier bereits der Anschauung, dass alle Stoffe fähig sind, in jedem der drei Aggregatzustände aufzutreten. Dagegen finden wir bei Thales und Anaximander nicht unbedeutende astronomische Kenntnisse, sehen den letztern auf geographischem Gebiet erfolgreich arbeiten. Dass der »Vater der griechischen Philosophie« die totale Sonnenfinsternis vom 28. Mai 585 v. Chr. seinen Landsleuten vorhersagen konnte, ist nach dem oben mitgeteilten sehr wohl möglich. Die zur Lösung einer solchen Aufgabe nötigen Kenntnisse soll er sich in Sardes angeeignet haben, er soll ferner bei einem längeren Aufenthalt in Ägypten den dortigen Priestern die Methode aus der Proportionalität der Strecken, Höhen von Bauwerken u. s. w. zu finden an die Hand gegeben haben, wenn hier nicht eine Verwechselung zwischen Unterweisendem und Unterwiesenen vorliegt. Anaximander dagegen lehrte den Hellenen Einrichtung und Handhabung des babylonischen Gnomon kennen, stellte auch einen Himmelsglobus her. Nach den Berichten der durch vielfache Land- und Seereisen wohlerfahrenen jonischen Kaufleute suchte er sodann die erste Erdkarte zu entwerfen, welche die Erde als eine vom Okeanos umflossene Scheibe mit einem Meerbusen in der Mitte zeigte. Aber auch eine Reihe anderer Kenntnisse, die nur durch angestellte Versuche erhalten sein konnten, besaßen die beiden jonischen Philosophen. Nur so konnten sie gefunden haben, dass, was indessen auch den Ägyptern bereits bekannt war, der Magnet das Eisen, mit Wolle geriebener Bernstein leichte Körperchen anzieht, Eigenschaften, die Thales freilich nach echt griechischer Art einer den wirkenden Körpern innewohnenden Seele zuschrieb[2]). Anaximander wiederum hatte aus der kriegerischen Verwendung der Schleudersteine auf das Walten der Fliehkraft geschlossen und bereits ausgesprochen, dass die durch einen am Ende einer Schnur befestigten geschwungenen Stein hervorgerufene Zugkraft, um so größer werde, je größer der Stein genommen würde[3]). Seine Erklärung des Windes als einer Strömung der Luft, welche die Sonne durch Verbrennung und Verflüchtigung der feinsten und feurigsten Teile hervorrufe[4]), ersetzte indessen Anaximenes sachgemäßer durch die bereits angedeutete. Die organischen Wesen ließ Anaximander aus dem Meeresschlamm entstanden sein, war aber der Ansicht, dass alles Entstandene zu Grunde gehen müsse und dass nur der Urstoff unvergänglich sei. Nach alle diesem wird man in das der Beobachtungsgabe des Anaximander gespendete Lob wohl einstimmen dürfen, dass er »aus[5]) dem Augen- und Sinnfälligen das der Wahrnehmung Entrückte zu erschließen« besonders befähigt gewesen sei.

Auch die eleatischen Philosophen und Herakleitos von Ephesus suchten in erster Linie nach dem Urgrund des Seins. Fanden ihn jene in

1) Plutarch, de pr. frig. 7, 3. 2) Aristoteles, De anima 1, 2.
3) Gomperz, Griechische Denker. Leipzig 1895. S. 44.
4) H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen. Leipzig Bd. I. S. 98. 5) Gomperz.

dem Sein schlechthin, so glaubte es dieser im Werden entdeckt zu haben. Aus diesen Annahmen kann freilich wohl nur entnommen werden, dass ihre Urheber naturwissenschaftlicher Forschung fern standen. Wenn es auch verlockend sein möchte, den herakleitischen Ausspruch, dass die Dinge dem lebendigen Vorgange des Feuers ihr Dasein schuldeten, als einen unsern Anschauungen nahestehenden anzusehen, so ist daran in Wirklichkeit gar nicht zu denken; denn von dem Verbrennungsvorgang, auf dessen genauer Erkenntnis unsere Auffassung vom Leben beruht, hatte das ganze Altertum nicht die entfernteste Ahnung. Die Eleaten und Herakleitos haben für uns nur das Interesse, dass sie die letzten Konsequenzen des jonischen Gedankens, allen Dingen liege ein einziges Prinzip zu Grunde, zogen und ihre Nachfolger dadurch veranlassten, einen neuen Weg zur Erkenntnis der natürlichen Dinge zu gelangen zu suchen.

Er lag nahe genug! Konnte man nicht auf ein Grundprinzip, ein Element alles Seins schließen, so musste man mehrere an seine Stelle setzen. Die zu diesem Zweck von Empedokles aus Agrigent (um 490 bis 430) aufgestellten bekannten vier Elemente Feuer, Wasser, Erde, Luft haben freilich nur das Bedürfnis des Volkes zu befriedigen vermocht, die Homoeomerieen des Anaxagoras aus Klazomenae (um 500), eine Vielzahl von individuellen Gebilden, deren einseitiges Vorherrschen die qualitative Verschiedenheit der Körper bedingen, deren Entstehungsursache aber der einheitliche göttliche Geist (der *Νοῦς*) sein sollte, hatten dagegen nur philosophischen Wert, die von Leukippos, dessen Existenz man neuerdings in das Gebiet der Sage zu verweisen gesucht hat[1]), und sicher von dem Abderiten Demokritos (470—362) als Bausteine aller Körper angenommenen kleinsten, unteilbaren materiellen Teilchen von verschiedener Größe und Gestalt haben dagegen längst als Atome das Bürgerrecht in der Naturwissenschaft erhalten.

Im Gegensatz zu des Anaxagoras Lehre lag der des Empedokles und der Atomiker eine Reihe von experimentellen Beobachtungen zu Grunde. Einzelne von ihnen sind uns aufbewahrt. So suchte der Agrigentiner die Hautatmung durch den folgenden Versuch zu erklären. Verschließt man eine enge in dem Boden eines Gefäßes befindliche Öffnung mit dem Finger, taucht es, die Öffnung nach unten in Wasser und zieht den Finger weg, so dringt das Wasser nicht ein, weil die Luft nicht entweichen kann. Umgekehrt mit freier Öffnung in Wasser getaucht, füllt es sich sofort damit an. Ebenso soll die äußere Luft nur dann in den menschlichen Körper eindringen können, wenn sich das Blut von dessen Oberfläche zurückzieht und den inneren Teilen zuströmt[2]). Eine Erklärung der sonstigen Beobachtungen widersprechender Thatsachen, dass die Him-

---

1) So P. Tannery in Revue des Études grecques. T. X. No. 38, vgl. Rhode in Verhandlungen der 34. Philologen-Versammlung S. 64 ff. und Fleckeisens Jahrbuch 1881. S. 741 ff., Natorp im Rheinischen Museum XL. S. 349 ff. und H. Diels in den Verhandlungen der 35. Philologen-Versammlung S. 96 ff.

2) Gomperz, a. a. O. S. 191, vgl. Aristoteles, de caelo, II. 13.

melskörper nicht auf die in ihrer Mitte befindliche Erde herabstürzen, sieht er dagegen in dem Kunststück, das ihm bei Schaustellungen vorgeführt worden war. Dort hatte man mit Wasser gefüllte Becher, den Boden nach außen an Reifen befestigt und diese im Kreise herumgeschleudert. Auch wenn die Öffnung nach unten gekehrt war, war das Wasser nicht herausgefallen[1]). Demokritos aber suchte die aus der Annahme der Atome sich ergebende Folgerung, dass die Körper eine Menge leerer Räume enthielten und dass der dichtere Körper einen geringeren Gehalt an »Leerem«, wie der weniger dichte aufweisen müsse, dadurch zu stützen, dass er in ein mit Asche gefülltes Gefäß Wasser goss und, wie er meinte, fand, dass die Menge des aufgenommenen Wassers derjenigen gleich war, welche das leere Gefäß aufnehmen konnte. Die hieraus von ihm gezogenen Folgerungen[2]) haben wir hier nicht zu widerlegen, erwähnt sei nur noch sein Versuch, die verschiedene Härte der Körper zu erklären, welcher mit der Thatsache im Widerspruche stand, dass der schwerere Körper nicht immer der härtere ist. Diesen Widerspruch glaubte der Abderite durch die Annahme lösen zu können, dass er zwar zugab, dass der schwerere Körper mehr Atome und weniger Leeres enthalte, aber für den härteren die Voraussetzung machte, in ihm sei das Leere ungleichmäßiger verteilt.

Ist somit Empedokles der erste gewesen, der den Begriff des Elementes als des in sich gleichartigen, qualitativ unveränderlichen und nur wechselnden Bewegungszuständen und mechanischen Teilungen zugänglichen Stoffes aufstellte und zur Erklärung der in den Körpern vor sich gehenden Veränderungen Ursachen der Bewegung oder bewegende Kräfte annahm, wenn er sie auch noch nicht als mechanisch auffasste, so gebührt Demokrit das Verdienst, den Begriff der Elemente schärfer gefasst und aus ihm die Konstitution der Körper zuerst erklärt zu haben[3]).

Wir würden unserer Aufgabe nur zum Teil gerecht werden, wollten wir nicht einen Blick auf den Standpunkt der ärztlichen Wissenschaft der damaligen Zeit werfen. Denn nicht nur, dass die Ärzte mancherlei für den Physiker Wichtiges bearbeiteten, auch die Philosophen beschäftigten sich mit medizinischen Fragen und so hat Demokritos über gewisse Krankheitsformen und über Arzneimittel[4]) geschrieben. Ebenso wie Schulen für Philosophen gab es auch solche für Ärzte, namentlich in Kos, Knidos, Rhodos, Kroton und Kyrene, in denen bereits die Elemente der physikalischen Diagnostik, insbesondere der Auskultation gelehrt wurden. Die berühmteste war die von Kos und deren Hauptzierde Hippokrates II. (geb. 459 oder 460), welcher die unter dem Namen der »Hippokratischen Sammlung« bekannten, von ihm selbst und anderen koïschen Ärzten verfassten medizinischen Schriften herausgab. In ihr finden sich die auch für uns

1) Gomperz, a. a. O. S. 195. 2) Gomperz, a. a. O. S. 267.
3) Windelband, Geschichte der alten Philosophie in Iwan Müller, Handbuch klassischen Altertumswissenschaft 1888. V. 1. S. 161.
4) Plinius, Hist. nat. XXVIII. 8.

wichtige Beschreibung des Seh- und Hörorgans. Am Augapfel unterscheiden die Hippokratiker drei Häute, die Sclerotica, die Hornhaut, »die, wenn sie zerreißt, eine Art Blase hervortreten lässt« und die feinste von allen, welche die den Bulbus erfüllende Flüssigkeit einschließt. Das Sehen geschieht durch die Perzeption des Lichtes, welches sich in der Pupille abspiegelt. Das Gehörorgan besteht aus dem knöchernen Teile des Ohres und dem Trommelfell, »einer Haut, dünn wie Spinnegewebe«. Über die Art, wie die Gehörempfindung zustande kommt, haben sich die Hippokratiker nicht ausgesprochen [1]).

Der Philosoph, dessen Auftreten den Höhepunkt der griechischen Philosophie bedeutet, hat den Naturwissenschaften unmittelbar nur wenig genützt. Zwar war Sokrates der erste, welcher sich der induktiven Methode bediente, aber er wandte sie nur auf ethische und philosophische Untersuchungen an und erst durch Aristoteles gewann sie für die Naturwissenschaft Bedeutung. Denn auch in den Schriften Platons dient die sokratische Methode nur philosophischen Fragen. Gleichwohl finden auch in ihnen gelegentlich als Beispiele physikalischer Thatsachen, die nur durch Versuche gefunden werden konnten, ihre Stelle, wie wenn im Symposion Sokrates sagt [2]): »Das wäre vortrefflich, Agathon, wenn es mit der Weisheit so bestellt wäre, dass sie sich durch Berührung aus dem volleren von uns in den leereren herüberleiten ließe, wie das Wasser in den Bechern, das durch einen Wollstreif aus dem vollen in den leeren fließt«, woraus auf eine Bekanntschaft mit capillaren Erscheinungen geschlossen werden muss. Wie man ebenso die Komödien des Aristophanes hat heranziehen können zum Beweis, dass zu seiner Zeit der Gebrauch von Brenngläsern in Athen ein allgemein bekannter war, haben wir bereits angeführt [3]).

2. Aristoteles.

Einzelne Versuche oder Geräte finden wir bei Aristoteles aus Stagira (384—322 v. Chr.) nicht beschrieben. Er fasst vielmehr den ganzen Wissensschatz seiner Zeit zusammen und sucht die allgemeinen Gesetze und Theorien, die sich daraus ergeben, aufzustellen. Seine Schriften sind deshalb von um so größerer Bedeutung auch für die Geschichte der Experimentierkunst, als sie erkennen lassen, zu welchen Anschauungen die empirischen Kenntnisse seiner Zeit führten. Die hier in Betracht kommenden sind die acht

1) Haeser, Lehrbuch der Geschichte der Medicin. Jena 1875. I. S. 141.

2) Platos Gastmahl, übersetzt und erläutert von E. Zeller. Marburg 1857. S. 6.

3) Die betreffende Stelle in den »Wolken« lautet:

ΣΤΡ. Ἤδη παρὰ τοῖσι φαρμακοπώλαις τὴν λίθον
ταύτην ἑόρακας, τὴν καλήν, τὴν διαφανῆ,
ἀφ' ἧς τὸ πῦρ ἅπτουσι; ΣΩ. τὴν ὕαλον λέγεις;
ΣΤΡ. Ἔγωγε. Φέρε, ...
ἀπωτέρω στὰς ὧδε πρὸς τὸν ἥλιον
τὰ γράμματ' ἐκτήξαιμι . . . .

Bücher über Physik[1]), die vier Bücher über dem Himmel[2]), die zwei Bücher über Entstehen und Vergehen[3]), die vier Bücher Meteorologie[4]) und die mechanischen Probleme[5]). Sie sind die ersten, die Figuren mit Buchstaben bringen.

Für unsere Zwecke wird es sich empfehlen, ihren Inhalt nach den in ihnen abgehandelten Disziplinen zusammenzufassen.

Indem wir mit Aristoteles' Untersuchung über das »Sein« und das »Leere« beginnen, die die Frage nach der Konstitution der Körper behandelt, müssen wir freilich seine Ansichten über die Luft vorweg nehmen. »Diejenigen nun«, sagt er[6]), »die zu zeigen versuchen, dass das Leere nicht sei, widerlegen nicht das, was die Leute als ein Leeres bezeichnen wollen, sondern greifen mit dem, was sie sagen, fehl, wie Anaxagoras und alle jene, die nach dieser Weise argumentieren. Diese nämlich demonstrieren nur, dass die Luft etwas ist, indem sie die leeren Schläuche recken und strecken und dabei zeigen, wie stark die Luft sei, oder indem sie die Luft in Wasseruhren festhalten. Die Leute aber wollen unter dem Leeren eine Ausdehnung verstehen, in der kein sinnlich wahrnehmbarer Körper ist, und indem sie meinen, jedes Seiende sei ein Körper, sagen sie, dass dasjenige leer sei, in dem überhaupt gar nichts ist, nicht demnach, dass das mit Luft gefüllte leer sei. Also nicht das muss man zeigen, dass die Luft etwas ist, sondern, dass es keine von den Körpern verschiedene Ausdehnung giebt, weder trennbar von ihnen, noch dem Aktus nach seiend, die den ganzen Körper auseinander hielte, so dass er nicht mehr kontinuierlich wäre, wie Demokritos und Leukippos und viele andere Naturphilosophen dies behaupten, oder dann auch, ob etwa außerhalb des gesamten kontinuierlich seienden Körpers etwas solches ist«.

Die Luft spielt eine wichtige Rolle in der aristotelischen Bewegungslehre. Auf zweierlei Art können sich die Körper bewegen, so, dass ihre Bewegung aufhört, wie die eines auf horizontaler Unterlage fortgestoßenen Körpers oder so, dass sie fortdauert, wie die eines fallenden Steines oder die Kreisbewegung. Dieses ist deshalb die natürliche, jenes die gewaltsame oder widernatürliche. Die letztere bedarf, wenn sie dauern soll, stets neuer Antriebe, welche von der Luft erteilt werden, »da der geschleuderte Körper, wenn das Fortstoßende aufhört, denselben zu berühren, entweder durch Gegendruck, wie einige sagen, bewegt wird, oder deswegen, weil die fortgestoßene Luft wieder in einer Bewegung fortstößt, die schneller ist als die Raumbewegung des fortgestoßenen Körpers, in der er an seinen heimatlichen Ort hin bewegt wird«. Dass diese Erklärung nicht recht befriedigend ist, scheint übrigens der Stagirite selbst gefühlt zu haben. Wenigstens findet sich im 8. Kapitel des IV. Buches die

1) *Φυσικὴ ἀκρόασις.* 2) *Περὶ Οὐρανο*[illegible] [illegible]*σεως καὶ Φθορᾶς.*
4) *Μετεωρολογικά.* 5) *Μηχανικὰ προβ*[illegible] von fremder
[illegible] enthalten sollen. 6) Aristoteles, [illegible] Carl
[illegible] *Leipzig. IV. Buch, 6. Cap.*

Stelle: »Ferner könnte wohl niemand angeben, warum etwas, was einmal in Bewegung gesetzt worden ist, irgendwo stille stehen sollte«, eine Stelle, die eine Ahnung des Beharrungsvermögens zu enthalten scheint.

Die natürliche Bewegung kann nun eine unvollkommene oder eine vollkommene sein, ersteres, wenn sie, wie die eines fallenden Körpers nicht gleichförmig und nicht unendlich ist, letzteres, wenn sie ohne sich zu ändern in alle Ewigkeit fortdauert. Bei der Rolle, die Aristoteles der Luft bei der gewaltsamen Bewegung zuschrieb, musste ihm der Gedanke fern liegen, dass sie dem fallenden Körper einen Widerstand entgegensetze. Die verschiedene Fallgeschwindigkeit verschiedener Körper suchte er sich deshalb aus dem großen oder geringeren Gewichte der Körper zu erklären und meinte[1]), »dass der Körper der schwerere ist, der bei gleichem Inhalt schneller abwärts geht«. »Ein größeres Stück Gold fällt also schneller als ein kleineres, und ein größeres Stück Blei schneller als ein kleineres.« Diese Behauptungen sind es namentlich gewesen, die Galilei zur Anstellung seiner Fallversuche bewogen. Die vollkommene natürliche Bewegung ist nur den Himmelskörpern eigen. Denn diese, die an besonderen Sphären befestigt sind, bestehen aus einem himmlischen Stoff, dem fünften Element, dem Äther oder der Quintessenz (quinta essentia).

Die Kreisbewegung irdischer Körper, die nicht aus Äther bestehen, muss deshalb andere Merkmale haben. Sie zeigt sich als aus einer natürlichen und einer widernatürlichen Bewegung zusammengesetzt. Aristoteles untersucht, um hier Klarheit zu schaffen, erst, was geschieht, wenn ein Körper zugleich nach zwei Richtungen bewegt werden soll. »Wenn nun etwas nach irgend einem Verhältnisse bewegt wird«, sagt er darüber[2]), »so dass es eine gerade Linie durchlaufen muss, so wird sie die Diagonale einer Figur sein, welche die in diesem (gegebenen) Verhältnisse zusammengesetzten Linien bestimmen. Denn es sei das Verhältnis der Bewegung dasjenige, welches AB zu AC hat, und es werde A nach B getrieben (Fig. 9), AB aber nach CG. In einerlei Zeit aber gelange A nach D und AB nach EF. Ist da dann das Verhältnis der Bewegung dasselbe, das AB zu AC hat, so ist es auch notwendig das von AD zu AE, das kleine Vierseit ist mithin ähnlich dem größeren und es wird auch die Diagonale AF in die AG fallen; dies wird aber immer stattfinden, wie wir auch die Bewegung begrenzen; denn immer wird sie auf dieser Diagonale fortgehen. Hieraus also wird offenbar, dass etwas auf der Diagonale nach zwei Richtungen Bewegtes notwendig in dem Verhältnis dieser Seiten bewegt wird. Denn geschähe es nach der einen, so könnte es nicht diese Diagonale urchlaufen. Änderten aber zwei Bewegungen jeden Augenblick ihr Veris zu einander, so wäre damit eine geradlinige zu bewirken unmöglich.«

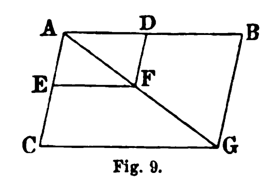


Fig. 9.

istoteles, Über den Himmel. IV. Buch.

teles, *Mechanische* Probleme von F. J. T. Poselger. Hannover 1881. S. 25.

Aus dem so erhaltenen Satze vom Parallelogramm der Geschwindigkeiten leitet nun **Aristoteles** die Bewegung eines Punktes auf dem Kreisumfange ab, indem er sie aus zwei Bewegungen zusammengesetzt denkt, einer natürlichen gegen den Mittelpunkt gerichteten und einer gewaltsamen nach der Tangente zielenden. Je kleiner aber der Kreis wird, desto mehr wird ein ihn beschreibender Punkt »gegen die Natur« getrieben. Das ergiebt sich folgendermaßen: Sei $BCED$ (Fig. 10) ein Kreis und in ihm ein anderer kleinerer $NKIQ$ um denselben Mittelpunkt A. Die Durchmesser werden gezogen in dem größeren BE und CD, in dem kleineren NI und KQ und das ungleichseitige Parallelogramm $DOLC$ werde vollendet. Soll nun AB den Kreis beschreibend in seine anfängliche Lage AB zurückkommen, so muss offenbar seine Bewegung sich selbst entgegengesetzt werden, und auf ähnliche Weise wird AN nach AN zurückkommen. AN wird dabei langsamer bewegt, als AB, wie gesagt, weil AN mehr gehemmt und angezogen wird. Werde nun AHG gezogen und aus H die Senkrechte auf AB gefällt und ebenfalls aus H die zu AB Parallele HP gezogen; ferner auf AB die Senkrechten PM und GI. Dann sind PM und HF einander gleich und BM kleiner als NF, weil gleiche Sehnen in ungleichen Kreisen ein kleineres Stück des darauf senkrechten Durchmessers in den größeren Kreisen abschneiden. Denn es ist PM gleich HF. In derselben Zeit also, worin AH den Bogen NH durchläuft, durchläuft der Endpunkt von BA im größeren Kreise einen größeren Bogen als BP. Die Bewegung nach der Natur (MP, FH) ist in beiden gleich; die gegen die Natur BM aber kleiner als NF. Es muss aber das Gleichverhältnis bestehen: nach zu nach, wie gegen zu gegen die Natur, eben daher ein größerer Bogen des BP in BG durchlaufen sein und zwar BG in derselben Zeit (wie NH). Denn hier tritt (für beide Bewegungen) das Gleichverhältnis ein, das gegen und das nach der Natur. Ist aber das nach der Natur im größeren Kreise größer, so kann auch nur ein größeres gegen die Natur genügen. So wird B BG in derselben Zeit durchlaufen, als N NH. Denn alsdann kommt nach der Natur B nach G und gegen die Natur nach I, und wenn GI senkrecht auf AB aus G gefällt wird, so ist $GI : IB$, wie HF zu FN, wie aus den Verbindungen der Punkte B mit G und N mit H klar wird. Wäre aber der Bogen, den B (in derselben Zeit) durchliefe, kleiner oder größer als BG, so würde zwischen dem nach der Natur und dem gegen die Natur kein Gleichverhältnis bestehen. Aus dieser Ursache wird von derselben Kraft ein vom Zentrum weiter abliegender Punkt stärker bewegt und der längere Halbmesser beschreibt einen g[illegible]ren Kreis, wie solches sich aus dem Gesagten entwickelt. I[illegible] rt, dass **Aristoteles** die Richtung [illegible]

[illegible] in den Punkten P

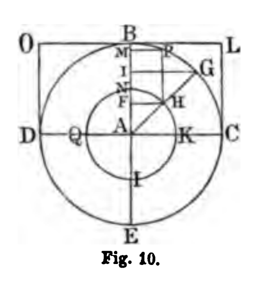


Fig. 10.

Punkte B, P, G als unendlich nahe annimmt und man wird deshalb mit Poselger annehmen dürfen, dass Aristoteles diese Punkte so betrachtet haben wollte.

Wir haben die aristotelische Theorie der Kreisbewegung hier deshalb so ausführlich wiedergegeben, weil einmal darauf die erst von Galilei aufgeklärte Aufgabe des Rades des Aristoteles beruht und sodann weil der Stagirite von ihr in seiner Theorie des Hebels ausgeht. Das Rad des Aristoteles ist in Fig. 11 dargestellt. Er fragt, warum bei seiner Umwälzung ein größerer Kreis *DCE* eine ebenso große Linie abwickelt, wie der kleinere *DCF*, wenn sie, mit einander verbunden, um denselben Mittelpunkt bewegt werden, so dass beide nach Belieben das Stück *EG* oder *FL* und *EH* oder *FI* abwickeln würden. Die Schwierigkeit liegt nur in der unrichtigen Fragestellung, denn nur einer der Kreise kann abgewickelt werden, der andere muss zum Teil gleiten.

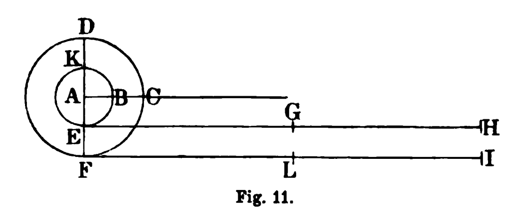


Fig. 11.

Hat diese Spitzfindigkeit für uns kein größeres Interesse mehr, so gilt das Gegenteil von der Anwendung der obigen Sätze auf den Hebel. Aristoteles redet allerdings nur vom zweiarmigen. Da er das Ruder, das Steuer und den Mast eines Schiffes auch als zweiarmige Hebel ansieht, so scheint es, als habe er den einarmigen noch nicht gekannt. Die Bedingungen des Gleichgewichtes der zweiarmigen Wage leitet er nun folgendermaßen ab:

»Sei das Rechteck *BC*, Fig. 12, der Wagebalken, *AD* der Aufhängehaken, der, abwärts verlängert, die Senkrechte *ADG* bildet. Wenn man das aufgelegte Gewicht *B* nach *E* und *C* nach *J* bringt, so wird die den Wagebalken in der Mitte teilende Linie, vorher in der Senkrechten selbst, *DG*, belegen, nach der Gewichtsvermehrung in *DF*, also die Mitte des Wagebalkens *EJ* außerhalb der Senkrechten *AG* fallen, mithin mehr als die Hälfte desselben auf die eine Seite von *DH*. Wird daher von *E* ein Gewicht hinweg genommen, so muss notwendig *J* herabsinken wegen seines Übergewichtes über *E*. Also springt der Wagebalken aufwärts, wenn der Aufhängehaken sich oberhalb befindet. Wird aber jener unterhalb unterstützt, so ergiebt sich das Gegenteil. Dann nämlich wird der abwärts ende Teil des Wagebalkens größer, als die lie Senkrechte bestimmte Hälfte desselben gt nicht zurück, weil der in die Höhe gehobene Teil nun der Sei das Rechteck *RS*, Fig. 13, der Wagebalken und *KLM*,

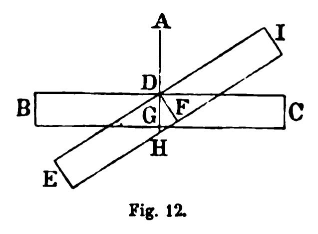


Fig. 12.

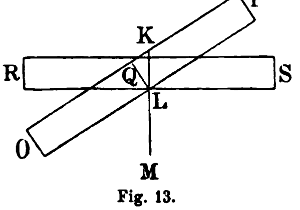


Fig. 13.

die darauf Senkrechte, teile ihn in zwei Hälften. Es werde auf R ein Gewicht aufgelegt und R nach O und S nach P gebracht, so kommt KL in QL, so dass KO um das Stück AKL größer wird als LP, und daher muss auch nach weggenommenem Gewichte der Wagebalken in dieser Lage verharren; denn es ist gleichsam noch das Gewicht des Überschusses von OK über die Hälfte aufgelegt«. Aristoteles fragt nun weiter: »Warum kleine Kräfte am Hebel große Lasten bewegen, wenn man noch die Last des Hebels hinzufügt«? und beantwortet die Frage in folgender Weise: »Am Hebel vereinigen sich drei Punkte, die Unterlage, der Aufhängepunkt und der Mittelpunkt, und zwei Lasten, die bewegende und bewegte. Die bewegte Last aber steht zu der bewegenden in einem umgekehrten Verhältnisse mit ihren Entfernungen (vom Mittelpunkte); und immer wird die Bewegung um desto leichter bewirkt, je weiter das Bewegende sich von dem Mittelpunkte entfernt aus der angeführten Ursache, dass der größere Halbmesser einen größeren Kreis beschreibt und daher einerlei Kraft das Bewegende desto weiter aus seiner Stelle bringt, je weiter es von seiner Unterlage entfernt ist«.

So spricht hier Aristoteles, wenn auch nur andeutungsweise, das Hebelgesetz aus. Indem er es aus Eigenschaften des Kreises herleiten will, die sich ebenso zu widersprechen scheinen, wie die Möglichkeit, mittels des Hebels durch kleine Gewichte große zu heben, und die er in der Ruhe in Beziehung auf den Mittelpunkt, verbunden mit gleichzeitiger Bewegung in Beziehung auf den Halbmesser, nimmt, musste ihm volle Klarheit versagt bleiben. Das drückt sich auch in der Art aus, wie er darthun will, dass längere Wagebalken genauer als kürzere wiegen. Der Aufhängehaken erscheint ihm als beharrender Mittelpunkt, die Arme sind Kreishalbmesser. Je weiter also ein Gewicht vom Mittelpunkt sich befindet, desto schneller wird es den Wagebalken bewegen, während Gewichte, in geringerer Entfernung vom Mittelpunkte aufgesetzt, sich der Wahrnehmung weniger bemerklich machen. »Daher bedienen sich die Purpurkrämer betrüglicher Kunstgriffe, indem sie den Aufhängepunkt außerhalb der Mitte setzen und in einen Teil der Wage Blei einlassen und auf die Seite, die sie herabsinken lassen wollen, Holz von der Wurzel oder Knotiges anbringen; denn schwerer ist aus der Wurzel genommenes Holz, und der Knoten im Holze ist eine Wurzel«. Wir sehen, dass ein Aichamt schon damals recht am Platze gewesen wäre, obgleich man mit sehr vollkommenen Wagen keineswegs ausgerüstet war.

Über die Gleichgewichtsbedingungen in Flüssigkeit getauchter Körper [illegible] ins Klare zu kommen, hat Aristoteles vergeblich versucht. [illegible] seiner Zeit bekannt, dass Schiffe im Flusswasser [illegible] haben wie im Meerwasser, ohne dass ihre Be[illegible] Eier in Salzlake schwimmen, in süßem W[illegible] ja man erzählte von einem See in Pal[illegible]

dass Menschen und Tiere in ihm nicht untersänken[1]. Die Erklärung dieser Thatsachen, die der Stagirite in seiner Ausdrucksweise so wiedergab, dass ein Stück Holz vom Gewichte eines Talentes (26,10 kg) im Wasser leichter wird wie ein Stück Blei, welches nur eine Mine (437 g) wiegt, können wir als eine solche freilich nicht anerkennen. Bedenkt man, dass noch Jahrhunderte vergingen, ehe man zu dem Begriffe des spezifischen Gewichtes gelangte, so kann das allerdings nicht verwundern.

Bemerkenswerter sind Aristoteles' Ansichten über das Wesen des Schalles und des Lichtes. »Ein Ton entsteht«, sagt er[2], »nicht dadurch, dass der tönende Körper der Luft, wie Einige glauben, eine gewisse Form eindrückt, sondern dass er die Luft auf angemessene Weise in Bewegung setzt. Die Luft wird dabei zusammengedrückt und auseinander gezogen und durch die Stöße des tönenden Körpers immer so wieder fortgestoßen, so dass sich der Schall nach allen Richtungen ausbreitet. Weder die Luft, noch das Wasser (wenn der Schall sich im Wasser fortpflanzt) sind des Schalles Ursache, sondern es muss ein Stoß fester Körper gegen einander und gegen die Luft erzeugt werden«. An einer anderen Stelle heißt es: »Die Luft selbst ist schalllos wegen der Verschiebbarkeit ihrer Teile; wird dieses Verschieben aber gehindert, so ist ihre Bewegung Schall«. Hätte man aus den ersten mitgeteilten Stellen den Schluss ziehen können, dass Aristoteles den Schall für Schwingungen der Luft hielt, so zeigt die letztere wiederum, dass er doch noch wenig klar darüber war. Das Wesen des Echos aber hat er richtig als eine Reflexionserscheinung erkannt. Er wusste ferner, dass der Schall bei Nacht besser und in größerer Entfernung als bei Tage gehört wird, glaubt aber auch, dass dies im Winter besser geschehe wie im Sommer. Endlich war ihm nicht unbekannt, dass eine Pfeife, wie eine Saite, die höhere Oktave des Tones gebe, den man der doppelt so langen entlocken kann.

Weniger klar spricht er sich über das Wesen des Lichtes aus. »Das Licht«, sagt er[3], »ist der Actus des Durchsichtigen, insofern es durchsichtig ist; worin es aber nur potentia ist, da kann auch Finsternis sein. Es ist weder ein Körper, wie dies Empedokles behauptet hat, noch der Ausfluss eines Körpers, sondern es ist die Anwesenheit des Feuers oder eines anderen der Art in dem Durchsichtigen. Denn zwei Körper können nicht zugleich an einem und demselben Orte sein. Die Farbe ist das im Licht Gesehene, weshalb sie auch nicht gesehen wird ohne Licht. Darin aber besteht das eigentliche Wesen der Farbe, dass sie das wirklich Durchsichtige, wie die Luft, in Bewegung setzt. Könnte Jemand etwas, das eine Farbe hat, unmittelbar auf das Auge setzen, so würde er nicht sehen, [illegible] alsdann das Medium zwischen dem gefärbten Körper und dem Gesichts-

Recherches historiques sur le principe d'Archimède. Revue
Série. Tom. 19 et 20. 1868 et 1869.
eschichte der Physik. Braunschw. 1882, I. S. 20.

organe fehlen würde, gerade so, wie das Ohr keinen Ton vernehmen könnte, wenn der tönende Körper dies Organ unmittelbar berührte. Demokritos hat daher Unrecht, wenn er sagt: dass man, wenn der Zwischenraum leer wäre, selbst eine Ameise am Himmel deutlich sehen würde. Wäre der Zwischenraum leer, so würde man nicht nur nicht eine Ameise, sondern überhaupt nichts sehen«. Der Ansicht des Empedokles, dass, weil das Auge feuriger Natur sei, das Sehen dadurch zustande komme, dass das Licht vom Auge ausgehe wie von einer Laterne, kann er sich nicht anschließen[1]). Wäre dies der Fall, so müssten wir ja auch in der Dunkelheit sehen können. Er nimmt vielmehr mit Demokritos an, dass das Innere des Auges wässerig sei und deshalb durchsichtig sein müsse, weil der Gesichtsnerv sich auf seiner hinteren Seite befinde. Dass diese innere durchsichtige Masse des Auges aber wässeriger Natur sei, beweise ja der wässerige Ausfluss, der sich bei Augenkrankheiten zeige[2]).

So geben uns die Schriften des Aristoteles, obwohl sie fast ausschließlich spekulativer Natur sind, einen guten Überblick über die Leistungen der Griechen vor ihm auf naturwissenschaftlichem Gebiete. Wir sehen, was sie zu seiner Zeit beschäftigte und was sie früher beschäftigt hatte, aber wir sehen auch, dass bis zum in Rede stehenden Zeitpunkte die Spekulation die exakte Naturforschung allzu sehr bei ihnen überwucherte. Diese Verhältnisse änderten sich völlig mit dem Auftreten des Archimedes. Wir wenden uns nunmehr zur Schilderung seiner Arbeiten und deren Ergebnissen.

3. Archimedes.

Tief eingreifend waren in dem Menschenalter zwischen Aristoteles' Tode und Archimedes' Auftreten die Veränderungen, welche die griechische Welt durchmachte. Die politische Selbständigkeit Griechenlands ging unwiederbringlich dahin; im Orient wurde Alexanders des Großen Reich unter seine Feldherren geteilt, im Occident begannen die Kriege, welche die erste Etappe in der Aufrichtung der Weltherrschaft Roms bildeten. Noch aber war des Archimedes' Heimat Syrakus von unabhängigen Fürsten beherrscht, noch leitete die Geschicke Ägyptens der erste in jener langen Reihe der Ptolemäer, welcher der Wissenschaft durch die Stiftung des Museums in Alexandria für Jahrhunderte eine bleibende Stätte sicherte. Mit seiner Selbständigkeit war auch Griechenlands bestimmender Einfluss in der Wissenschaft gebrochen. Es waren wohl noch Griechen, welche sie ausübten, aber die vorwiegend philosophierende Richtung hatte einer anderen Platz gemacht, welche, anstatt nur gelegentlich zu experimentieren, der Beobachtung und dem Experiment die ihnen zukommende grundlegende Bedeutung zuwies und nur die Folgerungen anerkannte, welche deren objektive Betrachtung zu ziehen erlaubte.

---

1) **Aristoteles**, Über die Sinne. Kap. II.
2) **Wilde**, Geschichte der Optik. Berlin 1838. I. S. 7.

Archimedes (287—212 v. Chr.) war den Fürsten von Syrakus verwandt und hat sein Leben in dieser seiner Vaterstadt hingebracht. Wie er bei deren Eroberung durch die Römer seinen Tod fand, so sind auch seine Erfindungen auf technischem Gebiete viel mit ihren Geschicken verknüpft gewesen. Diese Erfindungen aber waren es, die seinen Namen mehr, wie es seine wissenschaftlichen Arbeiten vermocht haben, berühmt machten, ja, es ging ihm wie so vielen anderen Erfindern: die vielzüngige Fama bemächtigte sich seiner und schrieb ihm Leistungen, wie die Schiffe zerstörenden Brennspiegel zu, die damals ebenso unmöglich waren, wie sie es jetzt auch noch sind.

Gerade seine theoretischen Arbeiten gehören aber zu dem Besten, was uns aus dem Altertum überliefert worden ist, nicht obgleich, sondern weil sie von der philosophischen Systembildung absahen. Dafür wurden sie um so fruchtbarer für die Mathematik und Physik. Mit den mathematischen, die bereits die ersten Keime der Infinitesimalrechnung enthalten, haben wir uns hier nicht zu beschäftigen; indem er auf die physikalischen Probleme aber auch die mathematische Betrachtungsweise anwendete, hob er auch diese hoch über die damals übliche Art der Bearbeitung empor.

Zunächst war es die Mechanik der festen und flüssigen Körper, welche er in Angriff nahm, und besonders ist es der Begriff und die Bestimmung des Schwerpunktes gewesen, die ihn eingehend beschäftigte. Solche Betrachtungen bilden den Inhalt seiner »vom Gleichgewichte der Ebenen oder von den Schwerpunkten derselben« handelnden Schrift[1]). Er betrachtet in derselben schwere, aber homogene Ebenen, hinsichtlich welcher er folgende Grundsätze aufstellt.

1. »Gleich schwere Größen in gleichen Abständen (vom Unterstützungspunkte) wirkend sind im Gleichgewichte«.

2. »Gleich schwere Größen in ungleichen Abständen wirkend sind nicht im Gleichgewicht, sondern die in der längeren Entfernung wirkende sinkt«.

3. »Wenn einer schweren Größe, die mit einer anderen in gewissen Abständen im Gleichgewicht ist, etwas zugefügt wird, so bleiben sie nicht mehr im Gleichgewicht, sondern diejenige sinkt, der etwas zugelegt worden ist«.

4. »Gleicherweise, wenn von der einen dieser schweren Größen etwas weggenommen wird, so bleiben sie nicht mehr im Gleichgewichte, sondern diejenige sinkt, von welcher nichts weggenommen ist«.

5. »Wenn gleiche und ähnliche Figuren aufeinander gepasst sind, so treffen auch deren Schwerpunkte aufeinander«.

6. »Die Schwerpunkte ungleicher, jedoch ähnlicher ebener Figuren liegen ähnlich, d. h. die von ihnen nach den Scheiteln der gleichen Winkel gezogenen Linien machen mit den gleichliegenden Seiten gleiche Winkel«.

---

1) Archimedes von Syrakus vorhandene Werke. Aus dem Griechischen übersetzt und mit Erläuterungen und kritischen Anmerkungen begleitet von Ernst Nizze. Stralsund 1824.

7. »Wenn Größen in gewissen Abständen im Gleichgewichte sind, so sind ihnen gleiche in denselben Abständen auch im Gleichgewichte«.

8. »Der Schwerpunkt einer jeden Figur, deren Umfang nach einerlei Gegend hohl ist, muss innerhalb der Figur liegen«.

An diese Sätze schließt Archimedes einige andere, durch Versuche ermittelte, an:

1. »Größen, die in gleichen Abständen sich im Gleichgewichte befinden, sind gleich schwer. Wären sie es nicht, so würden sie nach Wegnahme des Gewichtsüberschusses sich im Gleichgewichte befinden müssen, was nicht möglich ist«.

2. »Ungleich schwere Größen sind bei gleichen Abständen nicht im Gleichgewichte, sondern die schwerere wird sinken«.

3. »Wenn ungleich schwere Größen in ungleichen Abständen im Gleichgewichte sind, so befindet sich die schwerere im kleineren Abstande«.

4. »Wenn zwei gleich schwere Größen nicht einerlei Schwerpunkt haben, so liegt der Mittelpunkt der Schwere einer aus diesen beiden zusammengesetzten Größe in der Mitte derjenigen geraden Linie, welche die Schwerpunkte beider Größen verbindet«.

5. »Wenn die Schwerpunkte dreier Größen in einer geraden Linie liegen, auch die Größen selbst gleiches Gewicht haben, und wenn die Zwischenweiten der Schwerpunkte gleich sind, so wird der Schwerpunkt der aus allen dreien zusammengesetzten Größe derjenige Punkt sein, der auch der Schwerpunkt der mittleren Größe ist«.

Diesen Sätzen reiht sich dann die Gleichgewichtsbedingung von Gewichten oder Kräften am Hebel an, welche Archimedes ebenfalls als Erfahrungsgesetz aufstellt und folgendermaßen ausspricht: »Commensurable Größen sind im Gleichgewichte, wenn sie in ihren Entfernungen umgekehrt proportional sind«. Gleichwohl hält er es für nötig, ihn, indem er ihn aus den obigen Grundsätzen herleitet, zu beweisen. Es seien in Fig. 14

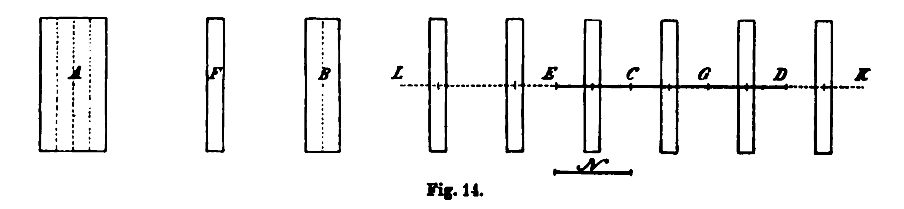


Fig. 14.

die Größen, die ihre Schwerpunkte in A und B haben und die durch die mittels der punktierten Linien hergestellten Teilungen als commensurabel zu erkennen sind, so dass die Größe F de[illegible]
Hälfte von B ist. Die Größen A und [illegible]
gezeichneten Hebelarme ED [illegible]
wird, dass sich $A : B = CD$ [illegible]
die Teile EC [illegible] und

A (4) solcher Teile zu liegen kommen. Verlängert man endlich CD über D bis K um B (2) und über E hinaus bis L um A (4) Teile und bringt in die Mittelpunkte der Teile N sieben Größen F an, so sind diese symmetrisch um C verteilt. C ist also der Schwerpunkt und es findet Gleichgewicht statt, wenn C unterstützt wird. Durch die Größen rechts von E ist aber A, durch die links davon B ersetzt. Sie müssen sich also ebenfalls im Gleichgewichte befinden[1]). Auch auf incommensurable Größen hat Archimedes seinen Beweis ausgedehnt, gegen dessen Richtigkeit freilich mancherlei Einwände erhoben worden sind.

Archimedes begnügte sich nicht wie Aristoteles mit der Aufstellung des Hebelproblems, er leitete auch das seine Lösung ermöglichende Gesetz ab, suchte es auch in vielseitigster Weise zu technischer Verwendung zu bringen. Sind es doch nicht weniger wie vierzig verschiedene Erfindungen, welche ihm zugeschrieben werden und von denen die meisten den Hebel benutzen. Einige von ihnen sind noch im Gebrauche, wie der Flaschenzug und die in Fig. 15 dargestellte Schraube ohne Ende, eine Schraube S, in welche ein mit Zähnen versehenes Rad R eingreift. Andere, eine Anzahl Hebe-, Stoß- und Schleudermaschinen waren in der Kriegskunst der Alten von Bedeutung und erwarben sich namentlich durch die großen Schwierigkeiten, die sie den Römern bei der Belagerung von Syrakus bereiteten, einen ans Sagenhafte grenzenden Ruhm. Wenn Plutarch[2]) recht berichtet ist, so hat sich der große Syrakusaner gerade um ihrer Konstruktion willen mit den technischen Anwendungen seiner gefundenen Sätze beschäftigt. Nur durch dringende Bitten des Königs Hiero hat er sich jenem Gewährsmanne zufolge überreden lassen, »seine Kunst von bloß intellektuellen Dingen auf körperliche zu übertragen, die Theorie gewissermaßen durch die Sinne mit den täglichen Bedürfnissen zu vermischen und somit dem großen Haufen deutlicher und verständlicher zu machen«.

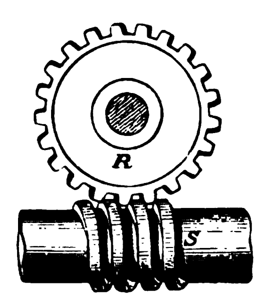


Fig. 15.

»Eudoxus und Archytas«, erzählt Plutarch weiter, »waren nämlich die ersten, welche diese beliebte Maschinenkunst aufbrachten, um der Geometrie eine angenehme Mannigfaltigkeit zu geben und solchen Problemen, die eines rationellen und gründlichen Beweises nicht fähig sind, durch sinnliche und organische Beispiele zu Hilfe zu kommen[3]). So wendeten Beide das Problem von zwei mittleren Proportionallinien, jenes vielen Rissen notwendige Element, auf organische Vorrichtungen an, indem sie

[1]) ... allgemeinen Principien der Statik. Breslau 1872. S. 6.

[2]) ...nde Lebensbeschreibungen. Übersetzt von J. Fr. S. Kalt-... 1806. Kap. 14—18.

[3]) ... Berichte sind so sagenhaft und bis zur Unmög-... geschichtlicher Wert nicht zukommt.

gewisse Instrumente, die Mesolabien hießen, nach krummen Linien und Schnitten bildeten. Da aber Plato sich darüber ereiferte und ihnen vorwarf, dass sie die Würde der Geometrie ganz vernichteten, wenn diese vom Unkörperlichen und Intellektuellen zum Sinnlichen herabsinken und sich wieder an einen Körper halten sollte, der so viele lästige, handwerksmäßige Arbeit erforderte, so wurde nun die Mechanik von der Geometrie gänzlich ausgeschlossen, auch eine geraume Zeit von der Philosophie verachtet und bloß als eine für das Kriegswesen gehörige Kunst angesehen«.

»Demungeachtet schrieb einst Archimedes an den König Hiero, dessen Freund und Verwandter er war, dass man mit der gegebenen Kraft jede gegebene Last bewegen könne; ja, im stolzen Vertrauen auf die Stärke seines Beweises soll er sogar behauptet haben, er wolle selbst diese Erde fortbewegen, wenn er nur eine andere hätte, auf die er treten könnte[1]. Als Hiero sich darüber verwunderte und ihn ersuchte, dies Problem ins Werk zu setzen und ihm zu zeigen, wie eine große Last mit einer kleinen Kraft bewegt würde, ließ er ein königliches Frachtschiff, dass nur mit großer Mühe und vielen Händen ans Land gezogen war, mit einer Menge Menschen und der gewöhnlichen Fracht beladen, setzte sich dann in einiger Entfernung nieder und bewegte langsam und ohne Anstrengung mit der Hand das eine Ende eines Flaschenzuges, womit er das Schiff ohne den geringsten Anstoß so sanft nach sich hinzog, als wenn es über das Meer glitte. Der König, der darüber staunte und die außerordentliche Wirkung dieser Kunst einsah, beredete den Archimedes, ihm allerhand Belagerungsmaschinen, sowohl zum Angriff als zur Verteidigung, zu verfertigen. Von diesen machte er selbst zwar keinen Gebrauch, da er den größten Teil seines Lebens ohne Krieg in einer glücklichen Ruhe hinbrachte; jetzt aber leistete diese Zurüstung und mit ihr der Verfertiger selbst den Syrakusanern herrliche Dienste«.

Umgekehrt, wie mit seinen Arbeiten über die festen Körper, bei denen er theoretische Sätze zu Grunde legte, ging es, den Überlieferungen der Alten nach, Archimedes mit der Entdeckung des wichtigen Satzes über die flüssigen, welcher noch heute nach ihm genannt wird. Auf sie soll ihn ein Auftrag, den ihm König Hiero gab, geführt haben.

»Von all den vielen wunderbaren und mannigfachen, wohl auch unendlich sinnreichen Entdeckungen des Archimedes«, so erzählt uns der Baumeister des Kaisers Augustus, Vitruv[2], die Begebenheit, »will ich nur die anführen, welche auf eine überaus kluge Weise gewonnen sein dürfte. Als nämlich Hiero, nachdem er zu königlicher Macht erhoben worden war, für seine glücklichen Thaten einen goldenen Kranz, wie er gelobt hatte, in irgend einem Heiligtume weihen wollte, ließ er diesen gegen Arbeits-

1) *Δός μοι ποῦ στῶ κ*[illegible] [illegible]kannten Worte, welche man Archimedes in den Mun[illegible]

2) Vitruvius Polli[illegible] übersetzt und durch [illegible]merkungen und Risse [illegible]ch. 9. Kap.

lohn fertigen und wog das dazu nötige Gold dem Unternehmer genau vor. Dieser lieferte seiner Zeit das zur vollen Zufriedenheit des Königs gefertigte Werk ab und auch das Gewicht des Kranzes schien genau zu entsprechen«.

»Als aber später Anzeige gemacht wurde, es sei Gold unterschlagen und dafür ebenso viel Silber beigemischt worden, da beauftragte Hiero, aufgebracht darüber, hintergangen worden zu sein, ohne einen Weg finden zu können, jene Unterschlagung zu erweisen, den Archimedes, die Auffindung eines solchen Überführungsweges auf sich zu nehmen. Dieser, eifrig damit beschäftigt, kam nun zufällig in ein Bad, und als er dort in die Wanne hinabstieg, bemerkte er, dass das Wasser in gleichem Maße über die Wanne austrat, indem er seinen Körper mehr und mehr in dieselbe niederließ. Sobald er auf den Grund dieser Erscheinung gekommen war, verweilte er nicht länger, sondern sprang, von Freude getrieben, aus der Wanne und, nackt seinem Hause zueilend, rief er mit lauter Stimme: er habe gefunden, was er suche. Denn im Laufe rief er griechisch aus: εὕρηκα, εὕρηκα (ich habe es gefunden)!«

»Dann soll er, von jener Entdeckung ausgehend, zwei Klumpen von demselben Gewichte, wie es der Kranz hatte, den einen von Gold, den anderen von Silber, zusammengestellt haben. Nachdem er dies gethan hatte, füllte er ein weites Gefäß bis an den obersten Rand mit Wasser und senkte dann den Silberklumpen hinein, worauf das Wasser in gleichem Maße ausfloss, als der Klumpen allmählich in das Gefäß getaucht wurde. Nachdem dann der Klumpen wieder herausgenommen war, füllte er das Wasser um so viel, als es weniger geworden war, das neu zugegebene mit einem Sextar messend, wieder auf, so dass es in gleicher Weise, wie früher, mit dem Rande in gleiche Höhe kam. So fand er daraus, welches Gewicht Silber einem bestimmten Volumen Wasser entspräche. Nachdem er dies erforscht hatte, senkte er den Goldklumpen in ähnlicher Weise in das volle Gefäß, und als er auch diesen herausgenommen, fand er, nachdem er das fehlende Wasser auf dieselbe Weise vermittelst eines Hohlmaßes nachgefüllt hatte, dass nun von dem Wasser nicht soviel abgeflossen war, sondern um so viel weniger, als ein Goldklumpen von gewissem Gewichte ein minder großes Volumen hat, wie ein Silberklumpen von demselben Gewichte. Nachdem er hierauf das Gefäß abermals gefüllt und den Kranz selbst in das Wasser gesenkt hatte, fand er, dass mehr Wasser bei dem Kranze als bei dem gleich wiegenden Goldklumpen abfloss und entzifferte so aus dem, was mehr bei dem Kranze als bei dem Goldklumpen abfloss, die Beimischung des Silbers zum Golde und machte die Unterschlagung des Unternehmers offenbar«.

Die so gemachten Erfahrungen fasste Archimedes dann in den folgenden Sätzen zusammen[1]):

---

[1]) Archimedes von Syrakus vorhandene Werke. Von den schwimmenden Körpern. 1. Buch.

1. »Feste Körper, die bei gleichem Rauminhalte einerlei Gewicht mit einer Flüssigkeit haben, sinken, in diese eingetaucht, so weit, dass nichts von ihnen aus der Oberfläche der Flüssigkeit hervorragt; tiefer aber sinken sie nicht«.

2. »Jeder feste Körper, der, leichter als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht wird, sinkt so tief ein, dass die Masse der Flüssigkeit, welche so groß ist als der eingesunkene Teil, ebensoviel wiegt, wie der ganze Körper«.

3. »Wenn Körper, die leichter sind als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht werden, so erheben sie sich wieder mit einer so großen Kraft, wie eine Masse Flüssigkeit von der Größe des Körpers schwerer ist als der Körper selbst«.

4. »Feste Körper, welche, schwerer als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht werden, sinken, so lange sie noch tiefer kommen können, und werden in der Flüssigkeit um so leichter, als das Gewicht einer Masse Flüssigkeit von der Größe der eingetauchten Körper beträgt«.

5. »Die Oberfläche einer jeden zusammenhängenden Flüssigkeit im Zustande der Ruhe ist sphärisch, und der Mittelpunkt ihrer Kugel ist einerlei mit dem Mittelpunkte der Erde«.

Kommt bei dem letzten Satze bereits die von Archimedes aufgestellte Lehre vom Schwerpunkte in Anwendung, so ist dies in noch höherem Maße der Fall bei seiner Betrachtung der schwimmenden Körper. In seiner von diesen handelnden Schrift setzt der Syrakusaner voraus, »dass jeder Körper, der in einer Flüssigkeit aufwärts steigt, hierbei dem durch den Schwerpunkt des Körpers geführten Perpendikel folgt. Wenn ein Körper, der leichter als eine Flüssigkeit ist und die Gestalt eines Kugelabschnittes hat, so in die Flüssigkeit getaucht wird, dass die Grundfläche des Abschnittes die Flüssigkeit nicht berührt, so wird der Abschnitt senkrecht schwimmen, dergestalt nämlich, dass die Achse desselben senkrecht steht. Und wenn der Abschnitt auf irgend eine Weise so geneigt wird, dass die Grundfläche die Flüssigkeit berührt, so bleibt er nicht so, nachdem er eingetaucht ist, sondern nimmt wieder die senkrechte Lage ein«. Ob Archimedes auch diese Sätze bewiesen hat, wissen wir nicht, aufbewahrt ist uns ein solcher Beweis nicht.

Erwähnt sei endlich noch der Apparat, den er zum Heben des Wassers angab, die Wasserschraube oder die archimedische Schnecke, die Fig. 16 darstellt[1]). Durch ihre Drehung hebt sie das im Schraubengange immer nach unten fließende Wasser bis zu dem oberen Ausgangspunkte. Wenn die Maschine dem Zwecke, zu welchem sie bestimmt war, jetzt wohl nur noch selten dient, so findet man sie um so häufiger als Vorrichtung, um gemahlene Körper, Mehl, Kainit u. s. w. fortzubewegen, im Gebrauche.

Ebensowenig, wie es Archimedes gelungen ist, den Begriff des Metazentrums bei schwimmenden Körpern zu finden, hat er sich nicht bis zu

---

1) Terquem, La science romaine. Paris 1885. Fig. 11.

dem des spezifischen Gewichtes durchgearbeitet. Der letztere folgt aber so unmittelbar aus dem des Archimedischen Prinzips, dass man als selbstverständlich annahm, dessen Entdecker müsse auch ihn aufgestellt haben. Indessen finden wir ihn in diesen allerdings nur mangelhaft erhaltenen Schriften nirgends formuliert. So lange man annahm, dass das Aräometer eine Erfindung des großen Mechanikers sei, musste man ihm auch die Aufstellung jenes Begriffes zuschreiben. Wie später gezeigt werden wird, ist aber das Aräometer eine viel spätere Erfindung, von der nicht Schlüsse auf Archimedes' Arbeiten zu ziehen sind.

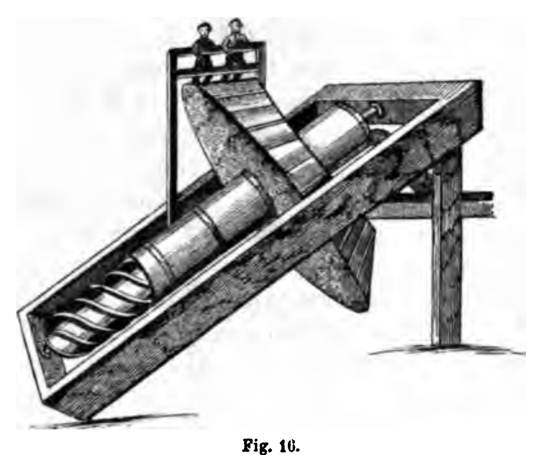


Fig. 16.

Dass Archimedes auch in den übrigen Teilen der Physik wohl bewandert war, wenn auch seine auf uns gekommenen Schriften darüber wenig enthalten, dürfen wir dagegen annehmen. Dass er die Brennspiegel und ihre Wirkungen besser kannte, wie uns seine übertreibenden Epigonen glauben machen wollten, ist wohl gewiss. Auch wusste er, dass ein am Boden eines etwas Wasser enthaltenden Gefäßes liegender Ring, der bei einer bestimmten Stellung des Beobachters nicht sichtbar ist, gesehen werden kann, wenn mehr Wasser in das Gefäß gegossen wird. Berühmt war auch ein Himmelsglobus, den Archimedes verfertigt hatte. Nach Hultsch[1]) war es aber nur ein hydraulisch bewegter Mechanismus zur Veranschaulichung der Stellung der Planeten.

4. Die älteren Alexandriner.

Die weitschweifige und gründliche Art, mit der Archimedes den mathematischen Teil seiner Untersuchungen behandelt, kommt mit derjenigen überein, welcher man in älteren deutschen und auch jetzt noch in den englischen Lehrbüchern der Anfangsgründe der Geometrie und Algebra begegnet. Jahrtausende hindurch ist diese Darstellungsweise unverändert geblieben, nachdem sie von dem Zeitgenossen, vielleicht auch Landsmanne des Archimedes, von Eukleides (geb. um 300 v. Chr.), dem ältesten in der Reihe der Alexandrinischen Gelehrten, eingeführt wurde, und erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hat man sich in Deutschland mehr oder weniger von ihr losgesagt. Ist bei ihrer Ausarbeitung Eukleides von Archimedes beeinflusst worden, so stände dieser Fall als einziger

1) Hultsch, Schlömilch. Zeitschrift f. Mathematik u. Physik. Bd. 22. H.—J. A. S. 106 ff.

da. Denn von Schülern des großen Syrakusaners wird nichts berichtet. Die politischen Verhältnisse seiner Vaterstadt waren dazu nicht angethan. Um so günstiger lagen sie für die Bildung einer Schule in Ägypten, welches in dem Miterben des Reiches Alexanders des Großen, in Ptolemaios Lagi, einen Fürsten, der die Wissenschaft übte und nach Kräften förderte, erhalten hatte. Gab er doch in dem bereits erwähnten, in seiner Hauptstadt gegründeten Museum mit seiner reichen Bibliothek, die erst nach Jahrhunderte langem Bestehen den anstürmenden Arabern zum Opfer fiel, den Gelehrten einen Mittelpunkt, der bald die Erbschaft der Griechen übernahm und weiterführte. Namentlich waren es neben Eukleides der aus Askra in Ägypten gebürtige Ktesibios (um 200 v. Chr.) und seine Schüler Heron aus Alexandrien und Philon aus Byzanz, die den Ruhm des Museums begründeten. Aber deren Schriften sind im Originale nicht auf uns gekommen, wir kennen sie nur aus römischen und arabischen Übersetzungen. Von Ktesibios' Schriften ist überhaupt nichts mehr vorhanden, die bei weitem meisten Nachrichten über ihn verdanken wir Heron. Hinsichtlich dieses tritt uns aber die große Schwierigkeit entgegen, dass weder die Zeit, in der er lebte, feststeht, noch der authentische Text seiner Werke über jeden Zweifel erhaben ist. Ja, auch die Autorschaft der Heronischen Werke ist unsicher. Da nun gerade sie wegen der großen Menge von Experimenten und Apparaten für uns von hervorragender Bedeutung sind, so wird es nötig sein, den Stand der auf ihn bezüglichen Fragen kurz zu beleuchten. Susemihl[1]) setzt die Lebenszeit Herons in das 3. und den Anfang des 2. Jahrhunderts v. Chr., M. Cantor[2]) um den Anfang, Martin[3]) um die Mitte des 1. Jahrhunderts, H. Diels[4]) und W. Schmidt[5]) in den Anfang unserer Zeitrechnung, Tannery[6]) in das 2. Jahrhundert n. Chr. und Carra de Vaux[7]) sogar in das 3. Jahrhundert n. Chr. Ausschlaggebend möchte hier F. Hultschs[8]) Ansicht sein, der

---

1) Susemihl, Geschichte der griechischen Litteratur in der Alexandrinischen Zeit. Leipzig 1891. Bd. 1. S. 736, 746.

2) M. Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Leipzig 1894.

3) Th. H. Martin, Recherches sur la vie et les ouvrages d'Héron d'Alexandria disciple de Ktésibius et sur tout les ouvrages mathématiques grecs conservés ou perdus, publiées ou inédits qui ont été attribués à un auteur nommé Héron. Mémoirs présentés par divers savants à l'Académie des inscriptions et belles lettres 1851.

4) H. Diels, Über das physikalische System des Straton. Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissensch. 1893.

5) W. Schmidt, Das Prooemium der Pneumatik des Heron von Alexandrien. Gymnasialprogramm. Braunschweig 1894.

6) Tannery, Über die Veröffentlichung »Codex Leidensis« 399, 1 von Besthorn und Heiberg. Bulletin des sciences mathématiques 1893. S. 315.

7) Carra de Vaux, Les mécaniques ou l'élévateur de Héron d'Alexandrie, publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostâ Ibn Lûgâ et traduites en Français. Extrait du Journal asiatique. 1894.

8) F. Hultsch, Recension von Cantors Geschichte der Mathematik im Litterarischen Centralblatt. 1894. S. 554.

sich auch über die Frage nach der Echtheit der Werke unseres Autors ausführlich ausspricht: »Somit wäre ja von den fünf Jahrhunderten zwischen Archimedes und Pappos«, sagt er, »die für die Epoche Herons offen stehen, auch das vierte vermutungsweise besetzt. Hier heißt es zunächst abwarten, bis die vollständige Übersetzung der Heronischen Mechanik vorliegen wird, dann aber die Frage in ihrem gesamten Umfange wieder aufnehmen und den Autor der von Vitruv und von den römischen Geometern und Grammatikern benutzten griechischen Werke über Mechanik und praktische Geometrie aufsuchen. Das wird kein anderer als Heron sein, der vor Vitruv gelebt hat. Die bis auf unsere Zeit gekommenen Texte sind echt, insofern sie den Autornamen und in der Hauptsache auch die ursprüngliche Anlage und Gestaltung der Heronischen Werke bewahrt haben, unecht aber insofern, als sie im stetigen Dienste der Praxis zu wiederholten Malen neu aufgelegt und dabei je nach den Zeitbedürfnissen überarbeitet worden sind. Selbstverständlich hat der arabische Übersetzer der Mechanik eine solche Neubearbeitung benutzt, jene älteren Texte, die einst Vitruv und den Grammatikern vorgelegen haben, waren im Mittelalter ebensowenig noch vorhanden, wie heutigen Tages«. Gestützt auf die genaue Prüfung der von Heron stammenden Rechenbücher und Maßtafeln, sowie auf die Bearbeitung eines Teiles der Heronischen Geometrie durch Balbus um 100 n. Chr., setzt Hultsch des Alexandriners Lebenszeit an das Ende des 2. Jahrhunderts v. Chr. [1])

Diejenigen der Schriften Herons, auf welche wir hier einzugehen haben, behandeln die Mechanik, Pneumatik, Optik und Feldmesskunst, und sind als Kompendien für seine Zuhörer geschrieben. Er habe, sagt er am Schlusse des ersten Buches seiner Mechanik, das zusammen gestellt, was andere vor ihm ausgedacht hätten und nur die Gesetze erläutert, die für Anfänger von Wichtigkeit seien, sein Buch genüge daher zur ersten Einführung in die mechanischen Künste. Im vierten Buche spricht er sich noch eingehender über diesen Zweck seiner Arbeiten aus. »Es ist nötig«, sagt er dort [2]), »dass die, welche die Bekanntschaft mit der mechanischen Kunst machen wollen, wissen, welche Ursachen bei jeder Bewegung thätig sind, und es ist wichtig, dass den Studierenden nichts ohne Beweis dargeboten werde und nichts für sie ein Gegenstand des Zweifels bleibe; jedes Problem, das ihnen vorgelegt wird, soll in unserer Darstellung seine Auflösung finden. Wir erinnern deshalb an verschiedene Prinzipien, die schon die Alten gelehrt haben und die sich auf unseren Gegenstand beziehen«. Indessen giebt er die Quellen, aus denen er geschöpft hat, nirgends an. Nur Archimedes erwähnt er einige Male, während er seine Mechanik so

---

1) Hultschs Rezension von Victor Mortet, la mesure des colonnes à la fin de l'époque romaine d'après un très ancien formulaire. Extrait de la Bibliothèque de l'école des chartes, année 1896. T. 57. Paris 1896; in der Berliner Philologischen Wochenschrift. Februar. 1898. S. 170.

2) Carra de Vaux, a. a. O. S. 142.

genau nach dem Vorbilde der »mechanischen Probleme« des Aristoteles vorträgt, dass einige der seinigen mit denen des Stagiriten genau übereinstimmen.

Von Philon sind uns Bruchstücke aus einem großen Werke erhalten, das eine Encyklopädie der damaligen Ingenieurwissenschaften unter dem Titel »Syntaxis mechanica« war, und ebensolche aus einer für seinen Freund Ariston verfassten Schrift, welche sich auf die Pneumatik bezog[1]), diese aber nur in einer aus dem 12. Jahrhundert stammenden lateinischen Übersetzung, der eine ältere arabische zu grunde liegt.

So enthalten die Schriften Herons und Philons neben eigenen auch Versuche und Apparate anderer, namentlich des Ktesibios, auf welchen indessen nur eine geringe Zahl mit Sicherheit zurückzuführen ist. Neben ihm sind noch als Quelle die Aufzeichnungen des griechischen Ingenieurs Athenaios[2]) (um 200 v. Chr.) über Kriegsmaschinen und das aus dem Anfange unserer Zeitrechnung stammende Vitruvs über Architektur anzuführen. Namentlich aus dem letzteren erhalten wir einen Überblick über die Apparate und Maschinen, wie sie zu seiner Zeit in Benutzung waren, wobei freilich die Möglichkeit im Auge zu behalten ist, dass Vitruv Apparate oder Verbesserungen aus späterer Zeit jenen zurechnet.

Nachdem wir so die Zuverlässigkeit der Quellenschriften geprüft haben, wenden wir uns zur Mitteilung ihres Inhaltes. Auf die beschriebenen Apparate und Maschinen können wir Platons Wort anwenden: sie enthalten »Scherz und Ernst gemischt nach bestem Vermögen«. Da finden wir solche von so großer praktischer Wichtigkeit, wie die Feuerspritze, neben einer Menge von physikalischen Spielereien, von denen sich aber nicht wenige bis auf unsere Tage erhalten haben und in älteren und neueren, der Unterhaltung gewidmeten Büchern, immer wieder vorgeführt werden. Während Ktesibios solche Spielereien an seinen Wasseruhren anbrachte, mussten bei Heron hauptsächlich die Spiegel und wie auch bei Philon der Heber herhalten.

Ktesibios stellte nach dem Zeugnis des Vitruv Wasseruhren oder Klepsydren nach dem Muster der babylonischen her, die jene aber an Genauigkeit dadurch weitaus übertrafen, dass die Ausflussöffnung der Unveränderlichkeit wegen in Gold oder in einen Edelstein gebohrt war. Das ausfließende Wasser fiel in ein Gefäß, in dem es sich sammelnd einen Schwimmer und mit ihm eine daran befestigte Zahnstange immer mehr hob. Indem diese in ein Zahnrad eingriff, bewegte sie einen auf dessen Achse befestigten Zeiger vor einem Zifferblatte, welches die Stunden ablesen ließ.

---

1) A. de Rochas, La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'antiquité. Paris 1882. S. 157 ff.

2) Veterum Mathematicorum (Athenaei, Bitonis, Apollodori, Heronis, Philonis et aliorum) opera. Ex manuscriptis codicibus Bibliothecae Regiae. Parisiis 1693. S. 1 bis 12.

Die Stunden aber wurden, wie bei den Babyloniern, durch Einteilung der Zeit vom Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang gerechnet und waren somit im Sommer länger wie im Winter. Deshalb waren die Wasseruhren so eingerichtet, dass man sie mit verschieden weiten Ausflussöffnungen versehen konnte. »Andere, mit diesen Wasseruhren in Verbindung stehende Zahnräder«, berichtet Vitruv, »bewirkten durch ihre Drehung verschiedene Bewegungen, nach denen sich Figuren bewegen, Kegelsäulen sich drehen, Kügelchen oder Eier fallen, Blasinstrumente ertönen und andere Nebendinge mehr«. So konnten freilich neben dem erregten Vergnügen an diesen hübschen Sächelchen auch die Stunden durch eine Klangwirkung angegeben werden. Genau gingen diese Uhren allerdings nicht. Von anderen Apparaten erzählt Vitruv, »durch die ebenfalls mit Wasser, und zwar vermittelst der durch Druck komprimierten Luft der Natur abgelauschte Wirkungen erzielt werden konnten, wie z. B. durch ein Wasserwerk hervorgebrachte Stimmen von Amseln« u. s. w.

Eine Reihe der Anwendungen des Hebers, wie sie Heron zu ähnlichen Zwecken benutzte, führen die Fig. 17 bis 25 vor. Sie sind ohne weitere

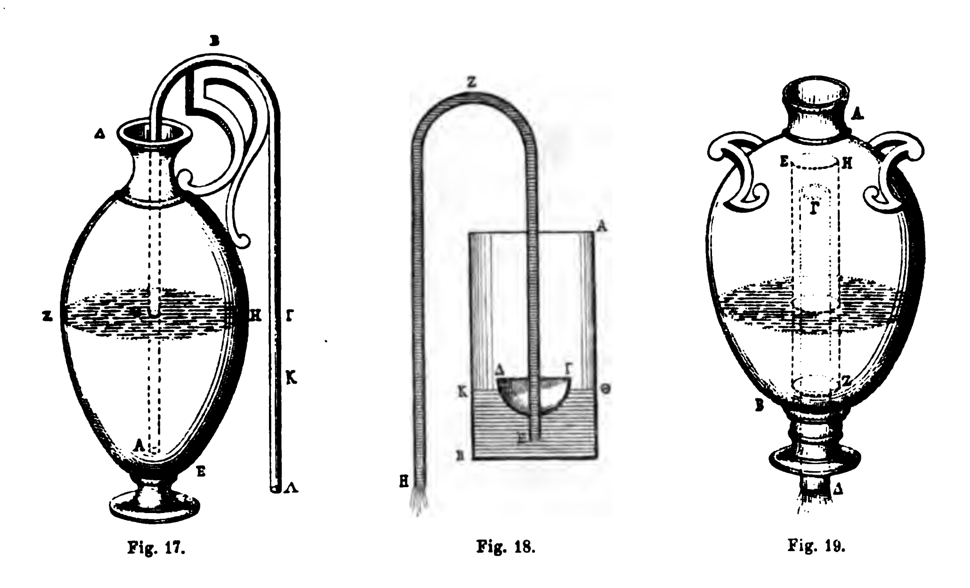


Fig. 17. Fig. 18. Fig. 19.

Beschreibung verständlich und der Leser wird manchen alten Bekannten darunter finden. Doch sei hier besonders hervorgehoben, dass die von Heron seinen Schriften beigegebenen Figuren nicht auf uns gekommen sind. Sie wurden nach seiner Beschreibung von deren Herausgebern rekonstruiert.

Die Spiegel finden wir zunächst als Spionspiegel verwendet. Diese Anwendung bildet den Inhalt des siebenten Problems der Heronischen Katoptrik, welche sich die Lösung der Aufgabe, »das, was an einer

3*

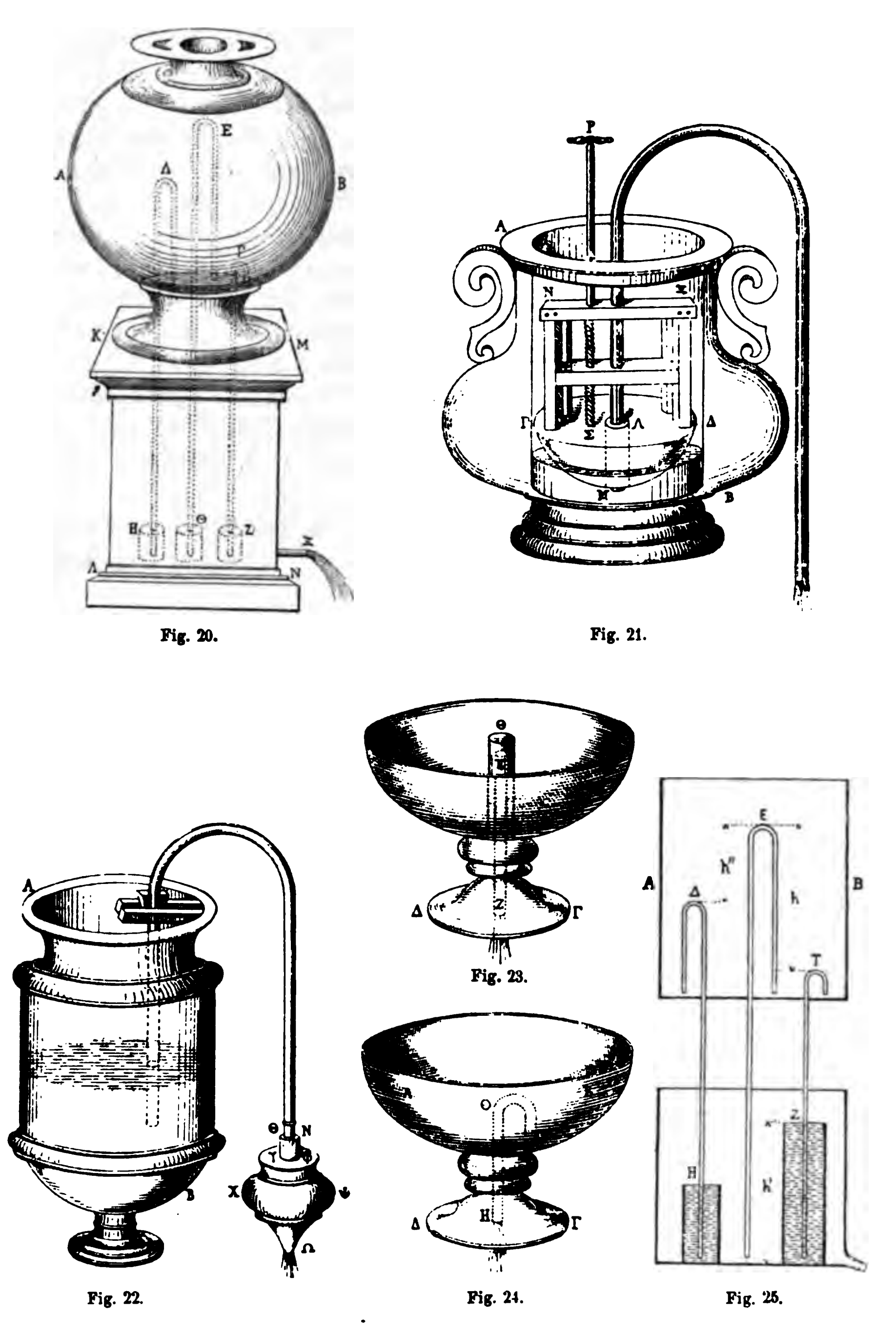


Fig. 20. Fig. 21.

Fig. 22. Fig. 23. Fig. 24. Fig. 25.

Straßenecke oder auf einem Platze vorgeht, zu sehen«, stellt und sie folgendermaßen löst. »Es sei *a* (Fig. 26) der Ort, von wo der Beobachter in den Spiegel sehen will, *g* eine Stelle in der Mitte des Fensters einer

Wohnung« (in die man ungesehen sehen will). »Man verlängere bg bis zum Punkte d an x einer Mauer, verbinde d mit a und halbiere den Winkel bda durch de, dann stelle man in d den Mittelpunkt eines Planspiegels so auf, dass de senkrecht auf der Ebene des Spiegels steht. Die Teilung des Winkels kann auch so geschehen, dass die Strecken ge und ae den anliegenden Seiten gd und ad proportional sind«. Dann kann man von a aus im Spiegel sehen, was in der Richtung dg geschieht. Auch kann man den Spiegel um die Achse hx drehbar aufstellen. Die Benutzung eines Spiegels, in derselben Weise, wie er jetzt noch zur Vortäuschung von Geistererscheinungen auf der Bühne im Gebrauche steht, bildet den Inhalt des neunten Problems. »Ein ebener Spiegel ist gegen den Horizont so geneigt, dass das Auge des Beobachters das Bild eines unter dem Boden verborgenen Objektes sieht, während das Bild des Zuschauers, das dort unten hingeworfen wird, von ihm selbst nicht gesehen wird und dadurch der Gedanke nicht in ihm aufkommen kann, als habe er einen Spiegel vor sich«. Die Täuschung wird noch vollkommener, wenn zugleich die hinter dem Spiegel liegenden Gegenstände gesehen werden können.

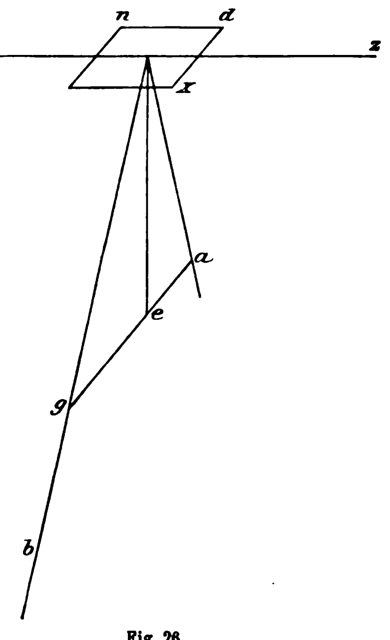


Fig. 26.

Auch der Cylinderspiegel muss herhalten, das μωρὸν κάτωπτρον, in dem das Gesicht des Beschauers einen einfältigen Ausdruck annimmt. Es bildet den Inhalt des vierten Problems und zeigt sich in Fig. 27, S. 38. Den übrigen Problemen liegt die Anwendung von Winkelspiegeln zu Grunde. Heron macht darauf aufmerksam, dass in einem solchen infolge der zweimaligen Reflexion die rechte Seite des Gegenstandes auch im Bilde als solche erscheine, und indem er zwei unter einem rechten Winkel zusammen stoßen ließ und um eine horizontale Achse drehbar machte, davor aber eine Figur des Zeus so aufstellte, dass ihr Bild ganz unten im oberen Spiegel, eine andere der Pallas so, dass sie an derselben Stelle nach Drehung des Apparates im unteren Spiegel erschien, führte er seinen erstaunten Zuschauern den etwas ungewöhnlichen Vorgang der Geburt der Pallas aus dem Haupte des Zeus vor Augen. Durch dieselbe Spiegelverbindung ermöglichte er es dann, wovon das sechste Problem handelt, dass sich der Beschauer zugleich von vorn und von hinten im Spiegel sah.

Die wenigen allgemeinen Bemerkungen über das Licht bezeichnen die Kenntnisse, die man zu seiner Zeit davon hatte. Da diese aber allgemein bekannt seien, meint er, so wende er sich der Katoptrik zu, die wunderbare Spekulationen zulasse. Für uns ist diese Einleitung dagegen von größerer Bedeutung. Danach stammen die Lichtstrahlen aus dem Auge und bilden gerade Linien, weil jeder geschleuderte Gegenstand geneigt ist, den kürzesten Weg einzuschlagen. Ihre Geschwindigkeit ist unendlich groß; von einem dichten polierten Körper prallen sie so zurück, dass der Einfalls- dem Ausfallswinkel gleich ist, einerlei, ob der Spiegel eben oder sphärisch ist. In einen undurchsichtigen Körper dagegen dringen sie ein.

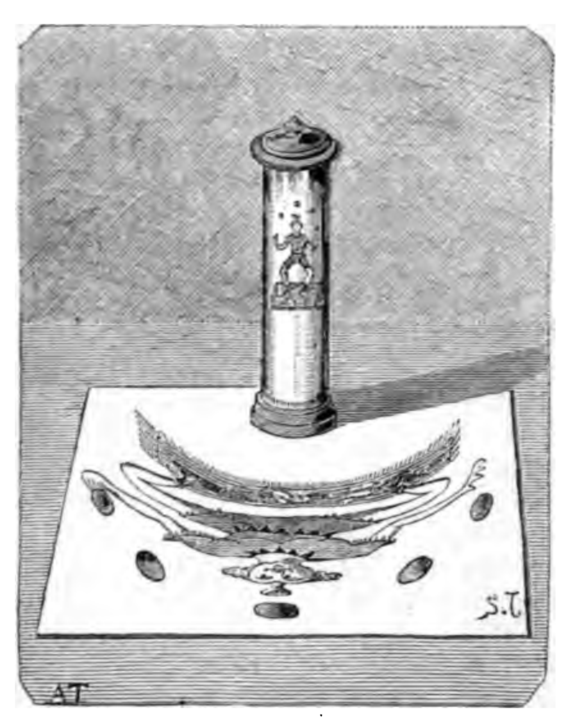


Fig. 27.

Die Untersuchungen über das Wesen der Luft, die nach anderer Seite hin von Philon fortgeführt werden, bilden die Einleitung zu Herons *Πνευματικά*. Er gehöre zwar nicht, meint er dort, zu jenen, welche an keinen leeren Raum glaubten, doch gäbe es keine zusammenhängende Leere, also z. B. kein leeres Gefäß. Ein solches enthalte vielmehr Luft, die übersehen werde, da sie aus unsichtbaren, leichten Teilchen bestehe. »Wenn wir Wasser in ein Gefäß gießen, das leer zu sein scheint, so wird die Luft in dem Maße ausströmen, als das Wasser eintritt. Wenn man ein leeres Gefäß senkrecht mit nach unten gerichteter Öffnung in Wasser taucht, so wird dieses nicht eintreten. Hieraus folgt, dass die Luft ein Körper ist, der den Raum des ganzen Gefäßes einnimmt und dem Wasser den Eintritt in dasselbe nicht gestattet. Erst wenn man den Boden des Gefäßes durchstößt, dringt Wasser hinein und die Luft entweicht durch das Loch. Wenn wir das Gefäß heben, bevor wir den Boden durchbohrt haben, so bemerken wir, dass die innere Wand nicht vom Wasser benetzt ist. Also ist auch damit nachgewiesen, dass die Luft ein Körper ist«.

Diese Betrachtungen führen Heron auf die Herstellung der in den Fig. 28 und 29 dargestellten Apparate, die mit freien oberen Öffnungen

Γ und Θ, K mit dem durchlöcherten unten befindlichen Boden, in Wasser getaucht, sich füllen, herausgehoben das Wasser aber nicht auslaufen lassen, so lange man mit dem Finger die oberen Öffnungen verschlossen hält. Erst wenn man sie frei giebt, fließt das Wasser aus; der Leser hat den Apparat wohl als Becher der Vestalin in dem einen oder anderen älteren physikalischen Kabinet gesehen.

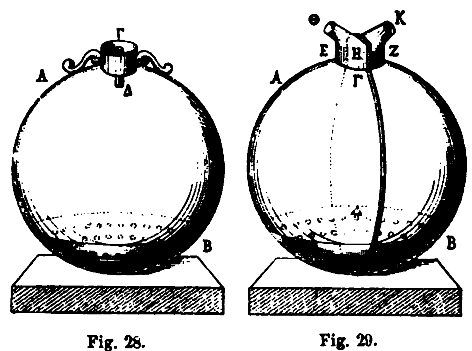


Fig. 28. Fig. 29.

»Die Luftteilchen berühren einander«, heißt es dann weiter, »ohne jedoch fest verbunden zu sein; zwischen ihnen befinden sich leere Räume, wie es bei den Sandkörnern am Ufer des Meeres der Fall ist. Man kann sich vorstellen, dass die Sandkörner den Molekülen der Luft entsprechen und dass die Luft, die sich zwischen den Sandkörnern befindet, den leeren Zwischenräumen zwischen den Luftmolekülen entspricht. Daher kann die Luft durch Druck zusammen gepresst werden; sobald aber der Druck aufhört, kehren die Teilchen in ihre normale Lage zurück infolge der den Körpern eigenen Elastizität. Sie verhalten sich also wie ein Schwamm, der sich zusammendrücken lässt und nach dem Aufhören des Druckes sein früheres Volumen wieder einnimmt. Es entsteht auch eine vorübergehende Leere; denn wenn man aus einem Gefäße mit enger Öffnung mit dem Munde die Luft aussaugt, bleibt das Gefäß an den Lippen hängen. In ähnlicher Weise wirken die Schröpfköpfe, indem das hineingebrachte Feuer die Luft verzehrt; auch Wasser wird durch das Feuer verzehrt und dabei in Luft verwandelt«.

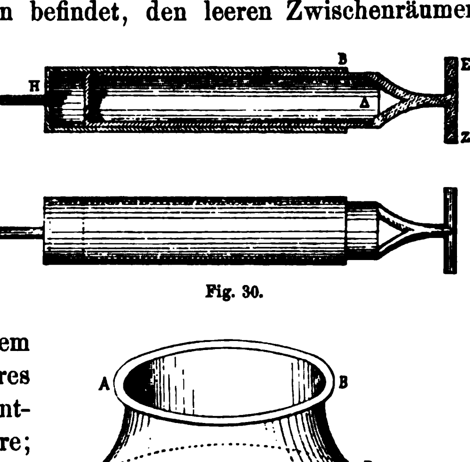


Fig. 30.

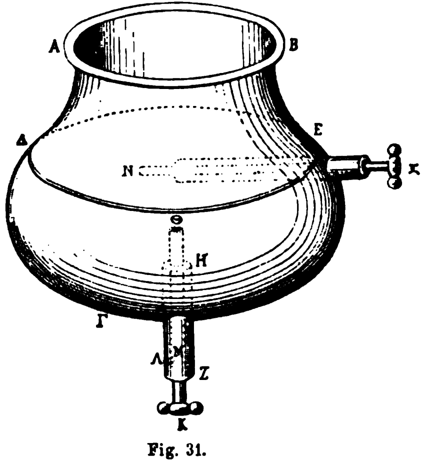


Fig. 31.

Diese Sätze geben Veranlassung zur Herstellung weiterer Apparate. So stellt Fig. 30 eine Pumpe zur Absaugung von Eiter dar, Fig. 31 einen Schröpfkopf mit Pumpen, »welcher saugt, ohne Mitwirkung des Feuers«,

Fig. 32 und 33 zeigen dagegen die Wirkung des Feuers auf Wasser, jene die durch den aus dem Topfe dringenden Dampfstrahl emporgeworfene Dampfkugel, diese die durch den Rückstoß des Strahles in rasche Drehung versetzte Aeolipile.

Das Dasein der Luft weist Philon durch den nämlichen Versuch wie Heron nach. Weniger glücklich ist er in der Erklärung der Wirkungsweise des Hebers. Dass beim Saugen die Luft in die Höhe gezogen werde, habe seinen Grund darin, dass die Luft leichter als das Wasser ist. Werde sie nun aus einem Raume ausgetrieben, so trete an ihre Stelle ein anderer, mit ihr in Verbindung stehender Körper. Das ist das Wasser, und deshalb werde es mit emporgehoben. Diese Erklärung wollte Philon mittels des in Fig. 34 dargestellten Apparates rechtfertigen. »Man nimmt«, sagt er, »ein Büffelhorn, das man so weit aushöhlt, dass seine Wände dünn und durchsichtig sind;

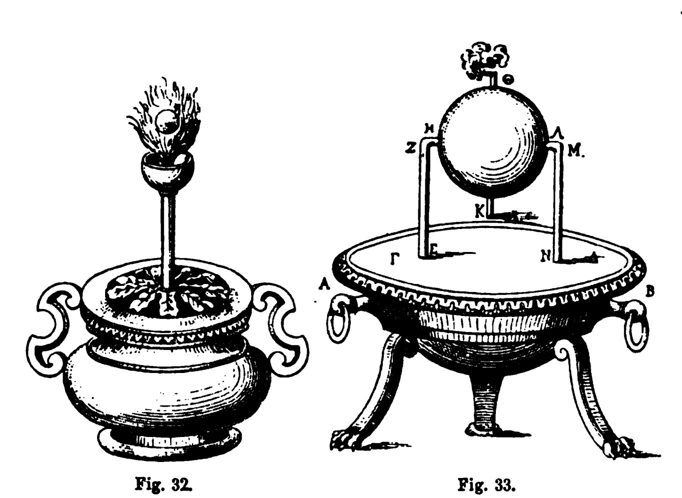


Fig. 32. Fig. 33.

es muss eine genügende Kapazität, eine mittlere Höhe und die Form eines Trinkgefäßes haben. Am unteren Teile bringt man eine runde Scheibe von trockenem Holze an, um das Resultat, das wir wünschen, zu erhalten. Diese Scheibe muss so angebracht sein, dass Luft nirgends entweichen kann, und man wird so in dem Horne eine Höhlung haben, wie es die Büchsen sind. Man wird hierauf dieses Horn in ein Gefäß umstürzen, dessen Öffnung weit sein muss, z. B. in eine Schale; alsdann wird man darunter oder an der Seite eine Büchse aus Blei stellen in der Weise, dass der Luft kein Ausweg geboten wird, wenn es nötig sein wird. Diese beiden Behälter verbindet man durch eine wasserdichte Röhre, deren Enden umgebogen sind und beinahe bis auf deren Grund reichen. Der Bleibehälter hat am oberen Teile in der Weise eine kleine Öffnung, dass man sich ihrer bedienen kann, um Wasser in das untere Gefäß zu gießen. Man bringe nun an dem unteren Teile dieses Behälters eine andere kurze Röhre von kleinem Durchmesser an, durch welche wir

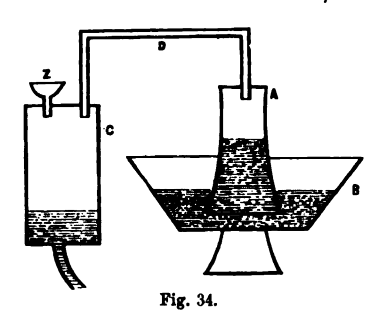


Fig. 34.

das Wasser ausfließen lassen können, wenn wir es wünschen. Es sei z. B. *A* das Horn, *B* das schüsseläbnliche Gefäß, *C* der Bleibehälter, *D* die große gemeinsame Röhre und *Z* die kleine Öffnung am oberen Teile des Bleibehälters. Wenn alle diese Bestandteile miteinander verbunden sind, wie wir es angegeben haben, verstopfe man das kleine untere Loch, fülle den Bleibehälter durch die obere Öffnung mit Wasser, verstopfe darauf diese Öffnung, so dass nichts ausfließen kann. Man öffne jetzt die untere Röhre, welche verschlossen war und das Wasser wird ausfließen. Die Luft, die in dem Horne ist, wird angezogen werden und bei ihrem Austreten wird sie das in dem Gefäße enthaltene Wasser mitreißen[1]), weil das flüssige Wasser in innigem Zusammenhange mit der Luft steht und entsprechend der austretenden Luftmenge eine Wassermenge nachfolgt und ihren Platz einnimmt, ohne einen Zwischenraum zu lassen. Indem das Wasser ausfließt, tritt Luft an seine Stelle, und wenn sämtliches Wasser aus dem Behälter ausgeflossen sein wird, wird das Wasser, das gehoben wurde, herabsinken; denn so entspricht es seiner Natur«.

Ganz auf dieselbe Weise wird mit Hilfe einer gekrümmten Röhre, die man manchmal den ägyptischen Kompass nennt, das Wasser eines hoch gelegenen Teiches zunächst gehoben und beim Ausfließen gelangt es an einen Ort, der tiefer als der Teich liegt.

Aus diesem innigen Zusammenhang von Wasser und Luft erklärt es auch Philon, dass, wenn das untere Ende eines mit Wasser gefüllten oben verschlossenen Rohres unter Wasser geöffnet wird, kein Wasser ausfließt, sucht er die Beobachtungen an den zum Teil mit Hebern versehenen Apparaten (Fig. 35, 36, 37) verständlich zu machen, wenn die obere Öffnung

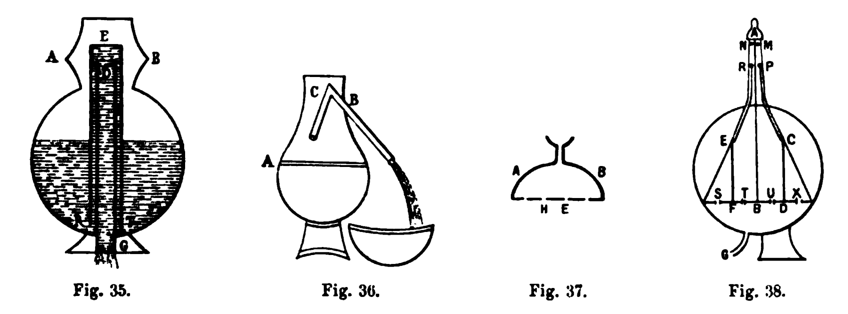


Fig. 35. Fig. 36. Fig. 37. Fig. 38.

frei gelassen wird. Fig. 38 stellt ein ähnliches Gefäß mit durchlöchertem Boden dar, welches aber durch Scheidewände in verschiedene voneinander getrennte Abteilungen geteilt und in ein weiteres Gefäß mit der unten befindlichen Ausflussöffnung *G* befestigt ist. Sind die oberen Öffnungen sämmtlich geschlossen, so tritt keine Flüssigkeit aus. Öffnet man aber eine oder einige der Öffnungen, so kann man eine oder ein Gemisch der

1) An dieser Stelle ist ein nichtssagender Zusatz weggelassen, den de Rochas für eine spätere Einschaltung hielt.

in die Gefäße durch die Öffnungen S, T, U und X eingefüllten Flüssigkeiten wieder austreten lassen.

Fig. 39 zeigt die viel unbeholfenere Art, wie Heron denselben Zweck behufs Mischung von Wasser und Wein in einem beliebigen Verhältnis erreichen wollte. Das Gefäß AB besaß das doppelte Volumen von $\Gamma\Delta$, das oben geschlossen und mit dem gleichfalls oben geschlossenen Gefäße EZ durch einen Heber Θ verbunden war. Ein zweiter über EZ nicht herausragender Heber führte von dort in das oben offene Gefäß ΞO. Die Deckel von $\Gamma\Delta$ und EZ hatten oben Öffnungen. AB war mit Wasser gefüllt, $\Gamma\Delta$ und EZ enthielten Wein. Durch Öffnen der in den Boden eingelassenen Röhren $Y\Psi$ und ΠP konnte man das Gemisch abfließen lassen.

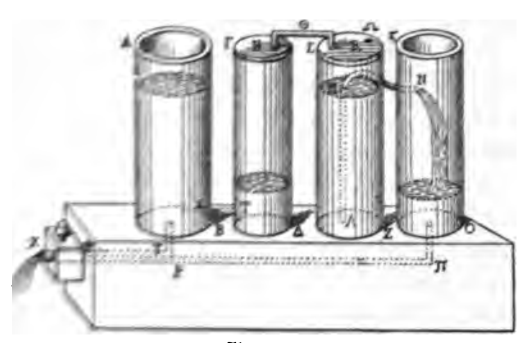


Fig. 39.

Die Figuren 40 und 41 bezwecken die Lösung einer Aufgabe, die später Mariotte in einer für unsere Zeit zweckmäßigeren Form löste, Ausflussgefäße mit konstantem Niveau herzustellen. Die Ausflussgefäße GHZ

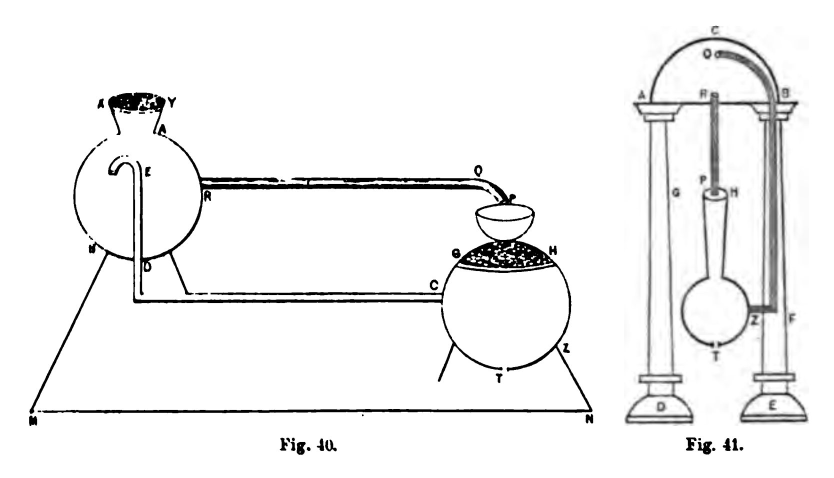


Fig. 40. Fig. 41.

haben enge Öffnungen bei T. Durch ein Rohr RP fließt die Flüssigkeit aus höher gelegenen, verschlossenen Gefäßen AB in sie hinein, bis sie die untere Öffnung eines zweiten die Gefäße verbindenden Rohres, welches im oberen Teile des Gefäßes AB mündet, verdeckt. Der Zufluss aus AB dauert nur so lange, als die Öffnung dieses zweiten Rohres frei bleibt, während der Abfluss durch T anhält. In Fig. 42 ist das die Flüssigkeit aus dem oberen in das untere Gefäß führende Rohr unten angebracht,

zwischen beide aber ist eine Wand *ST* gelegt. Die Wirkungsweise des Apparates ist dieselbe, wie die der vorigen. Er sollte wohl mehr zur Unterhaltung dienen, indem *GHZ* sich in rätselhafter Weise immer wieder bis *R* füllte, so oft man auch Flüssigkeit herausschöpfte. Dazu brauchte nur *ABQ* stets gefüllt gehalten zu werden.

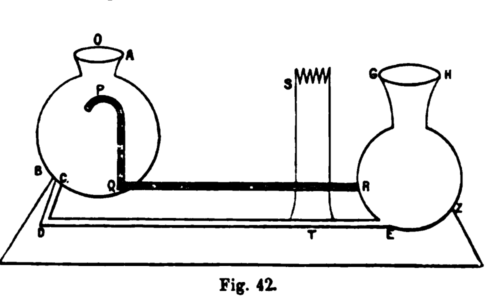


Fig. 42.

Die Herstellung solcher Gefäße mit langsamen Flüssigkeitszufluss ist bis zum Auftreten der Petroleum- und Gasbeleuchtung von Wichtigkeit gewesen. Hat sich doch auch Galilei mit der Konstruktion einer solchen befasst. Es kam dabei darauf an, den Ölzufluss zum Docht nach Maßgabe der Menge des in ihm verbrannten Öles zu regeln. Den Apparat, den Philon zu diesem Zweck angab, zeigt Fig. 43. »Man habe«, so beschreibt er ihn, »ein Gefäß *ABC* mit zwei Röhren *CD* und *BE* an beiden Seiten, eine andere vertikale Röhre *KLMN* gehe aus ihm in das Gefäß *GLZ*, so dass dadurch beide Gefäße miteinander verbunden sind. Das Gefäß *GLZ* habe an zwei Seiten zwei vorspringende, den Lampen ähnliche Anhängsel *GT* und *SZ*, die sich unter den Röhren *CD* und *BE* befinden. Füllt man das Gefäß *ABC* bis zu einer geringeren Höhe als *N* mit Wasser (und verschließt die Öffnung *A*), so wird es durch *CD* nach *SZ* und durch *BE* nach *GT* fließen und von da in das Gefäß *GLZ* so lange, bis es am untersten Ende des Kanals *LK* angelangt ist. Wenn dies der Fall ist, wird das Ausströmen durch *D* und *E* aufhören. Wenn die im Gefäß *ABC* enthaltene Flüssigkeit Öl ist und man in das Gefäß *GLZ* einen Docht oder Papier legt, wo Öl ist, wird dieses beim Brennen (des Dochtes) in *GZ* verzehrt werden und nach und nach aus *ABC* durch *DE* herabfließen«.

Fig. 43.

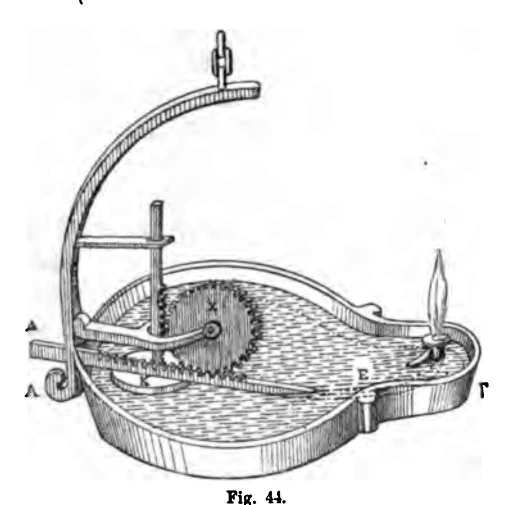


Fig. 44.

In etwas anderer Weise hat auch Heron den wechselnden Stand des Öls in der Lampe benutzt, um eine solche herzustellen, »die sich selbst unterhält«. Sie ist in Fig. 44

abgebildet. Der Docht ist an der in das Zahnrad X eingreifenden Zahnstange $\varDelta E$ angebracht, während in das Rad zugleich eine zweite senkrechte Zahnstange greift, die an dem Schwimmer K befestigt ist. Mit dem Ölverbrauche senkt sich dieser, schiebt dabei durch Vermittelung des Zahnrades X die Stange $\varDelta E$ und den Docht vor, so stets seine noch unverkohlten Teile in die Flamme führend.

Um über die Beziehungen des Feuers, d. i. der Wärme zur Luft klar zu werden, machte **Philon** zwei Versuche, die scheinbar das entgegengesetzte Resultat gaben, die er aber doch richtig zu deuten weiß. Den ersten, welchen Fig. 45 vorstellt, beschreibt er folgendermaßen[1]: »Man stelle eine Bleikugel von mäßiger Größe her, die inwendig leer (hohl) und geräumig ist. Sie sei weder zu dünn, um nicht gleich zu platzen, noch zu schwer, aber ganz trocken. Man durchbohre sie oben und setze eine gebogene Röhre ein, die fast bis auf den Boden reiche. Das andere Ende dieser Röhre stelle man in ein anderes mit Wasser gefülltes Gefäß. Dieses Ende reiche, wie in der Kugel fast bis auf den Boden, um den Ausfluss des Wassers zu erleichtern. Die Kugel sei A, die Röhre B, das Gefäß G. Ich behaupte also, wenn man die Kugel in die Sonne stellt, so wird nach Erwärmung der Kugel ein Teil der in der Röhre eingeschlossenen Luft hinausgehen. Dies kann man daran sehen, dass die Luft, welche aus der Röhre ins Wasser strömt, das Wasser in Bewegung setzt und eine Luftblase nach der anderen hervorruft. Wird aber die Kugel in den Schatten oder an eine Stelle gesetzt, zu der kein Sonnenstrahl dringt, so steigt das Wasser durch die Röhre empor und fließt bis in die Kugel. Stellt man die Kugel nachher wieder in die Sonne, so wird das Wasser in jenes Gefäß zurückfließen. So oft man den Vorgang wiederholt, zeigt sich dieselbe Erscheinung. Dieselbe Wirkung erzielt man, wenn man die Kugel durch Feuer erhitzt oder heißes Wasser darauf gießt. Wird sie dagegen abgekühlt, so steigt das Wasser wieder auf.«

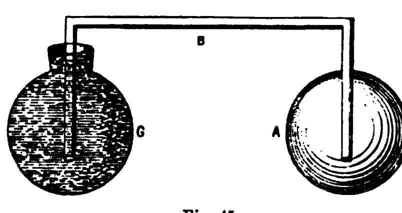


Fig. 45.

Die Anordnung des zweiten Versuches ist aus Fig. 46 zu ersehen. Über eine brennende Kerze BC stülpte der Alexandriner ein kolbenartiges Gefäß AD, dessen untere Öffnung durch Wasser abgeschlossen war. Das Wasser stieg empor, denn die Luft wird durch das Feuer verzehrt, »da sie nicht mit diesem existieren kann«.

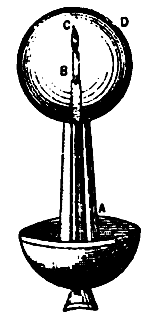


Fig. 46.

1) Die Übersetzung nach **W. Schmidt**, Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik. 8. Heft. Leipzig 1898. S. 163, eine Abhandlung, deren Inhalt freilich von **Burckhardt** bereits vor 30 Jahren vorweg genommen ist.

Dass die Alexandriner ihre mannigfachen Kenntnisse auch zur Konstruktion von Maschinen für technische Verwendung benutzt haben, war nach der Richtung ihres Arbeitens zu erwarten. Philon baute den in Fig. 47 abgebildeten Rammbär, den er zum Spalten von Steinen benutzt wissen wollte, und von Ktesibios wird berichtet, dass er die als bewegende Kraft benutzte Torsion der Seile durch die Spannkraft der Luft oder die Elastizität von gespannten Metallfedern ersetzt habe.

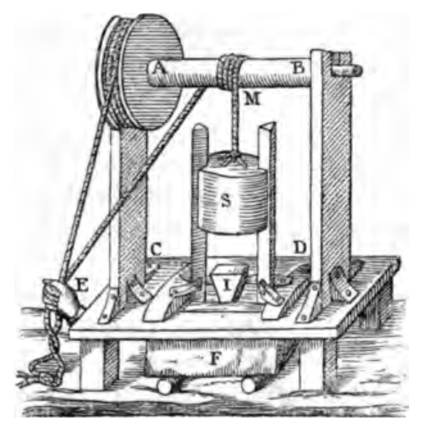
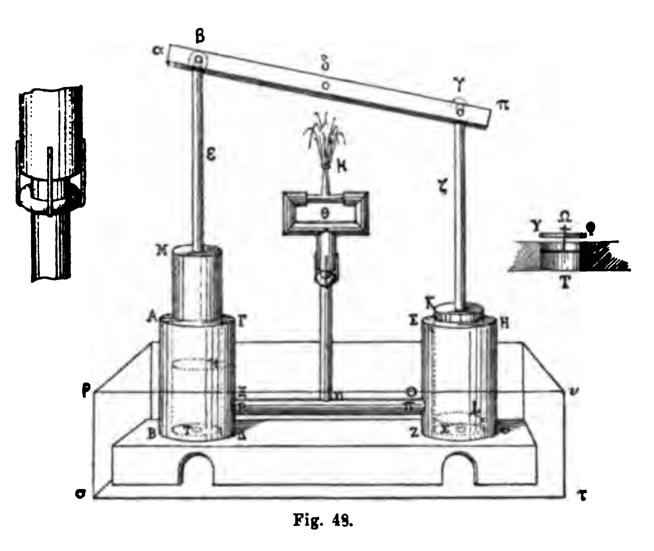


Fig. 47.

Weitaus berühmter wie diese Erfindungen sind zwei andere des Ktesibios geworden, über die Berichte von Heron und Vitruv auf uns gekommen sind, die Feuerspritze und die Wasserorgel. Die Feuerspritze, wie sie nach Herons Text rekonstruiert worden ist[1]), giebt Fig. 48. Sie bestand, wie die jetzt noch gebräuchlichen, aus zwei Druckpumpen, die auf ein Steigrohr wirkten. Die Einrichtung der Ventile lässt die Nebenfigur rechts, die wasserdichte Verbindung des Steigrohres mit dessen oberen den Ausguss tragenden Teil die Nebenfigur links erkennen. Um ihn anzubringen, lief das Steigrohr $\vartheta\eta$ oben in zwei zweimal rechtwinkelig gebogene Röhrenstücke aus, in deren Öffnungen ein T-förmiges Röhrenstück $\varkappa$ eingesetzt war. Die Bohrungen beider waren aber so gelegt, dass sie in der gezeichneten Stellung aufeinander passten und somit der Flüssigkeit den Durchgang gewährten, nicht aber, wenn $\varkappa$ nach unten gedreht wurde. Von der modernen Feuerspritze unterscheidet sich die in der Fig. 48


Fig. 48.

1) Veterum Mathematicorum (Athenaei, Bitonis, Apollodori, Heronis, Philonis et aliorum) opera. Ex manuscriptis codicibus Bibliothecae Regiae. Parisiis 1693.

dargestellte durch das Fehlen des Windkessels, sie konnte also nur intermittierende Wasserstrahlen werfen. Da nun aber einerseits die Pneumatica den Heronsball beschreiben, dieser Apparat also auch wohl schon von Ktesibios angegeben ist, andererseits aber die abgebildete Feuerspritze nicht das Original, sondern nur eine Rekonstruktion aus dem 17. Jahrhundert darstellt, so schien nichts natürlicher, als die Annahme, man habe, wie es ja für nahe liegend gehalten werden muss, auch an der antiken Feuerspritze den Heronsball als Windkessel angebracht und dies um so mehr, als Vitruvs Beschreibung, eine solche Annahme zu unterstützen scheint[1]). Vitruv beschreibt zwar so ziemlich dieselbe Maschine wie Heron, aber er lässt die beiden aus den Pumpencylindern heraustretenden Röhren in ein tiegel- oder beckenförmiges Gefäß, den »catinus« münden, welches einen trichterförmigen Deckel besitzt. Aus dem obersten Punkte desselben erhebt sich das Steigrohr, der Deckel aber ist mit Hilfe einer »fibula« mit dem »catinus« mittels eines hindurch gesteckten Keiles befestigt, »damit ihn nicht die Gewalt des Aufblähens des Wassers emporhebe«[2]). Wie dies zu verstehen ist, wird aus der kurz vorher gemachten Bemerkung klar, »dass das Wasser mit Hilfe der Luft in den catinus hinein getrieben werde«[3]). Diese Stelle, besonders aber die weiter unten folgende, »hier (im catinus) wird die Luft dadurch an den Deckel gedrängt, dehnt sich aber nach dem Drucke wieder aus und presst das Wasser durch die Röhre in die Höhe«[4]), schien nun keine andere Deutung zuzulassen, als dass Vitruv den Windkessel meine, dass derselbe also wenigstens zu seiner Zeit an der Feuerspritze angebracht gewesen sei. Doch spricht dagegen, dass die Befestigung des Deckels auf dem catinus keinen luftdichten Verschluss giebt und dass von einem Herabreichen des Steigrohres bis zum Boden des catinus nicht die Rede ist.

Glücklicherweise ist uns nun eine zweistiefelige Druckpumpe erhalten, welche, wenn sie auch wohl ein halbes Jahrhundert jünger ist wie Vitruv, da sie wahrscheinlich aus der Zeit des Antoninus Pius stammt, doch geeignet sein dürfte, die erwünschte Aufklärung zu geben. Sie ist in Castro novo an der Küste von Civita vecchia am Ende des vorigen Jahrhunderts ausgegraben und von Visconti[5]) zur Zeit beschrieben und abgebildet. Eine Reproduktion dieser Abbildung, soweit sie für uns hier notwendig ist, ergiebt die Durchschnittszeichnung Fig. 49, die die Mitte und den einen Cylinder nebst Kolben darstellt. Wenn sie auch wohl nicht als Feuerspritze gebraucht worden ist, so dürfte sich aus dem Umstand, dass auf sie die Beschreibung Vitruvs genau passt, ja deren Dunkelheiten

1) Vgl. F. Gerhard, Die Erfindung der Feuerspritze mit Windkessel in Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. Bd. XII. Heft 1. Nr. 133. 1883.

2) Ne vis inflationis aquae eam cogat elevare.

3) [illegible] expressum.

4) [illegible] in altitudinem.

5) Visconti, [illegible] V. S. 303.

mühelos erhellt, der Schluss ergeben, dass die Feuerspritzen der damaligen Zeit nicht anders aussahen.

»Die Zeichnung der in Rede stehenden Pumpe«, sagt a. a. O. der eine von uns[1]), »zeigt uns zunächst, wie weit vorgeschritten die damalige Technik bereits war. Weiter sieht man, dass der »catinus« ganz fehlt, da er durch die Weite des Steigrohres überflüssig geworden war, und dass er wohl aus ästhetischen Rücksichten in der Ausbauchung des unteren Teiles des Steigrohres, welches das kurze, vom horizontalen abgehende senkrechte Rohrstück überfängt, äußerlich nur noch angedeutet ist. Auch ist der Raum, den er einzunehmen hätte, an seinem oberen Ende durch ein Ventil scharf abgegrenzt, welches bei Herons Konstruktion fehlt, freilich auch von Vitruv nicht erwähnt wird. Gerade dies Ventil aber dürfte geeignet sein, die nötigen Erklärungen zu geben. Obgleich es auf den ersten Blick entbehrlich erscheint, so musste seine Anbringung doch notwendig werden, als man versuchte, größere Wassermassen zu heben. Es diente alsdann dazu, die Ventile in den horizontalen Rohrstücken zu entlasten, deren Spiel sehr erschwert werden mußte, wenn die ganze im Steigrohre enthaltene Wassersäule ohne elastische Zwischenschicht auf sie drückte. Da nun infolge des gewiss noch nicht sehr vollkommenen Schlusses der Pumpkolben[2]) wohl bei jedem Kolbenhub auch etwas Luft in das angesaugte Wasser geriet, die dann beim Niedergang des Kolbens mit in das Steigrohr gepresst wurde, so konnte es die Vorteile des Windkessels wenigstens einigermaßen ersetzen. Es musste ja diese Luft sich sofort unter das Ventil begeben und sich hier ansammelnd so lange zusammengepresst werden, bis ihre Spannkraft imstande war, den Druck der im Steigrohre befindlichen Wassersäule zu überwinden. Dann musste sie das Ventil öffnen und konnte nur durch das Steigrohr entweichen, indem sie die ganze Wassersäule hob. Dadurch war dann zugleich der Vorteil erreicht, dass die Pumpbewegung leichter und weicher wurde. Gegen den Windkessel stand aber diese Einrichtung insofern sehr zurück, als bei ihr die Luft stets erneuert werden

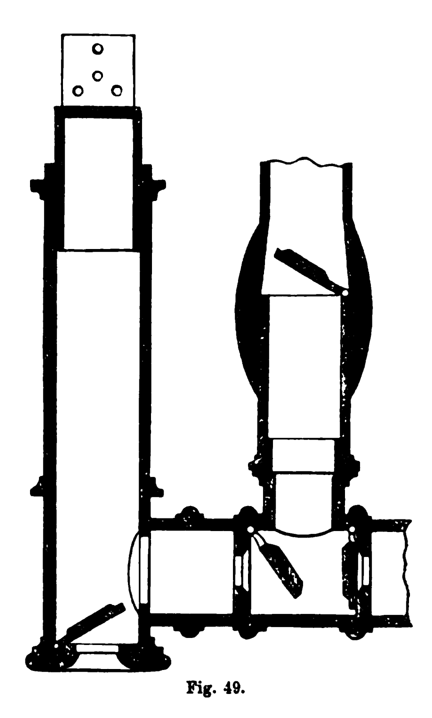


Fig. 49.

1) Gerland, a. a. O.

2) Wir werden sehen, welche Schwierigkeiten noch im 17. Jahrhundert die Dichtung der Pumpkolben machte.

musste, wofür freilich der [illegible] Verschluss des Kolbens hinreichend sorgen mochte. Diese Annahme würde nun mit einem Schlage die sämtlichen Dunkelheiten der Vitruvschen Darstellung aufhellen; dass ihr Urheber aber vergessen, das Ventil zu erwähnen, würde gewiss nicht schwer ins Gewicht fallen, da eine ähnliche Unterlassung nach Buttmann[1] auch bei Heron vorkommt.

Hat nun das Altertum die Feuerspritze mit Windkessel nicht gehabt, so muss dieser eine Erfindung der neueren Zeit sein; wir werden im Verlaufe unserer Schilderungen in der That zeigen können, dass diese Erfindung erst aus der Mitte des 17. Jahrhunderts stammt. Dabei bleibt aber noch eine Schwierigkeit aus dem Wege zu räumen. Den Heronsball beschreiben die Pneumatika ausführlich und zwar geht seine Beschreibung der der Feuerspritze voraus. So erscheint es unerklärlich, dass man jenen nicht an dieser angebracht haben solle. Die Erklärung dafür liegt jedoch in der ursprünglichen Form des Heronsballes, die aus Fig. 50 ersichtlich ist. Das Ausflussrohr ist ebenso, wie bei der Feuerspritze geformt. *ab* ist das Endstück, welches sich in der Gabel *cd* des Steigrohres drehen kann. *ef* ist eine Druckpumpe, welche Luft in das Gefäß pumpt. Man pumpte nun vor dem Gebrauche genügend Luft ein, dachte aber nicht daran, dies bei geöffnetem Steigrohre fortzusetzen oder gar neues Wasser zuzuführen. In der That war diese erste Form des Heronsballes nicht geeignet, auf solche Ideen zu führen. Dass nun der Apparat seinen Namen wohl nicht mit Recht trägt, sondern vielmehr den Ktesibios als Erfinder haben dürfte, ist für die obigen Darlegungen ganz gleichgiltig. Stammt er aber aus so später Zeit, dass ihn Vitruv noch nicht kannte, so würden unsere obigen Schlüsse nur um so mehr bindend sein. Auch dürfte es gerechtfertigt sein, dass wir vorgreifend die Feuerspritze, wie sie das Altertum kannte, hier schilderten, statt später noch einmal darauf zurückzukommen, da ja doch alle Apparate der Alexandriner uns nur aus späteren Überarbeitungen bekannt sind.

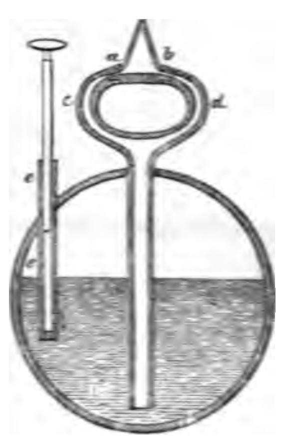


Fig. 50.

Die Wasserorgel[2], zu deren Betrachtung wir uns nun wenden, beschreibt Heron im wesentlichen folgendermaßen: »Man denke sich einen kupfernen, altarähnlichen Behälter *cd* mit Wasser, und in das Wasser eine

1 Buttmann, Über die Wasserorgel und Feuerspritze der Alten. Abh. der hist.-philol. Klasse der Akad. der Wissensch. in Berlin 1804—1811. S. 153.

2 Ph. Buttmann a. a. O. 1811. S. 171. S. Jan in Baumeisters Denkmälern des klassischen Altertums. München und Leipzig 1885. 3 Bde. Art.: »Flöte«. S. 563 ff. und A. de Rochas, La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'antiquité. Paris 1882. S. 283.

hohle Halbkugel $\zeta\eta$ gestürzt, den sogenannten Pnigeus (eigentlich »ein Kohlenstickerc«, eine Glocke, die man über das Feuer stürzt), oder Windkessel, in den das Wasser vom Boden des erstgenannten Behälters eindringen kann (s. Fig. 51, die von Buttmann rekonstruiert ist). In den oberen Teil dieses Behälters seien zwei Röhren eingepasst, deren eine, η, außerhalb des Behälters bei $\varkappa$ wieder abwärts geführt und in einen Cylinder ν eingefügt sein muss, der unten offen und zur Aufnahme eines Kolbens eingerichtet ist. In diesen Cylinder muss der Kolben ς genau passen, so dass er keine Luft durchlässt. An diesen Kolben aber ist eine recht feste Stange τ angebracht, und an dieser am Kolben befestigten Stange wiederum eine andere φ, die sich um den Bolzen v bewegt und an einer dritten aufrecht stehenden Stange χ hebelartig auf- und niedergeht. Aber oben auf dem Cylinder ν befindet sich ein kleinerer ω, in jenen eingepasst und oben geschlossen, jedoch auch mit einer Öffnung, durch die die Luft in den großen Cylinder einströmen kann. Über seiner (oberen) Öffnung muss sich eine Scheibe ψ befinden, die ihr zum Verschluss dient und die am Rande, wo sie durchlöchert ist, von kleinen Stiften mittels deren Köpfen gehalten wird, so dass sie nicht herunterfallen kann. Diese Scheibe heißt die Klappe; dieselbe bewegt sich also in der kleinen Büchse auf und ab. Geht der Kolben im Cylinder abwärts, dann senkt auch sie sich bis an die Köpfe der Stiftchen und lässt Luft einströmen, geht aber der Kolben aufwärts, dann hebt auch sie sich wieder und verschließt beide Cylinder; sie fungiert also als Klappe des Blasebalges. Aus dem Luftkessel $\zeta\eta$ geht aber noch ein zweites Rohr ς aufwärts und mündet in einen horizontal gerichteten Kanal $\varsigma\lambda$, die Windlade, in den auch die Pfeifen einmünden.

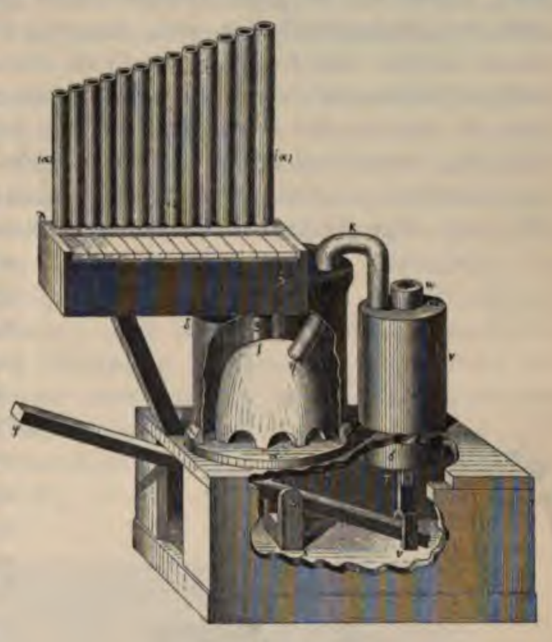
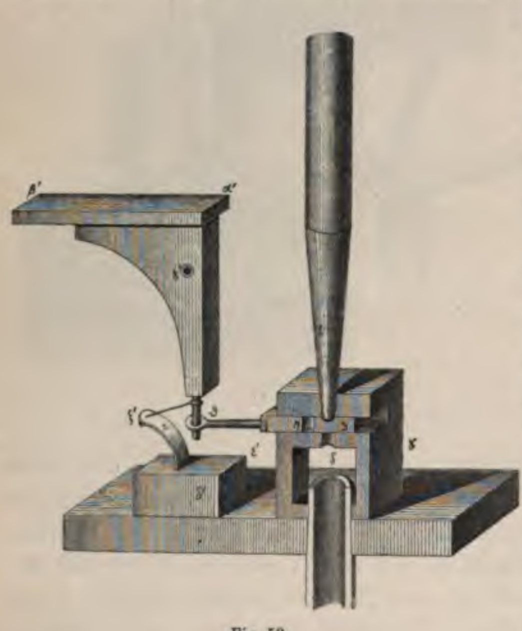


Fig. 51.

»Wenn nun der Hebel bei φ hinunter gedrückt wird, drängt der Kolben ς, indem er aufwärts steigt, die Luft aus dem Cylinder ν, und dieser schließt vermittelst der erwähnten Klappe ψ die Öffnung des kleinen Cylinders ω und geht durch das Rohr $\varkappa$ in den Luftbehälter, aus diesem aber durch das Rohr ς in den horizontalen Kanal $\varsigma\lambda$ und aus diesem wird

sie in die Pfeifen kommen, wenn die Bohrungen in den Deckeln entsprechend gestellt sind.«

»Das Wasser aber wird in den altarähnlichen Behälter gethan, damit die in demselben befindliche Luft, die aus dem Cylinder hereingepumpt wird, indem sie (bei jeder Abnahme ihres Quantums) das Wasser steigen lässt, so zusammengehalten wird, dass die Pfeifen tönen können. Unter diesen befinden sich Kästchen, die in sie einmünden. Zwischen den beiderseitigen Mündungen aber sind durchbohrte Deckel eingeschoben. Die Windlade ist also in eine fortlaufende Reihe solcher Kästchen zerlegt. Damit sich nun, sowie eine Pfeife ertönen soll, ihre Mündung öffnet, und wenn sie schweigen soll, wieder schließt, bringen wir folgende Einrichtung an (Fig. 52). Man denke sich eines dieser Kästchen allein für sich ($\gamma\delta$) und seine Öffnung bei δ, denke sich die dazu gehörige Pfeife ε und den dazu passenden Deckel $\varsigma\zeta$ mit seiner Öffnung η, letztere aber augenblicklich von der Pfeife abgerückt. Ferner müssen wir einen dreigliederigen Hebelarm haben $\zeta\vartheta\alpha'\beta'$, von dem ein Glied $\zeta\vartheta$ mit dem Deckel zusammenhängt, während sich das andere $\alpha'\vartheta$ um einen in seiner Mitte befindlichen Bolzen γ' bewegt. Wenn wir nun das Ende β' dieses Hebels (oder der Taste) mit der Hand niederdrücken, werden wir den Deckel einwärts stoßen an die Mündung des Kästchens bei δ und wenn er eingestoßen ist, dann kommt sein Loch unter das der Pfeife. Damit aber beim Wegziehen der Hand auch der Deckel sich von selbst wieder herausschiebt und die Pfeife aus dem Spiele bringt, muss noch folgende Vorkehrung getroffen sein. Unterhalb des Kästchens muss eine Leiste ε' liegen, gerade wie die Röhre $\varsigma\lambda$ und parallel mit ihr und auf dieser müssen Federn aus Horn befestigt sein, wohl gespannt und rückwärts gebogen, wie eine zum Kästchen δ gehörige bei ζ' sichtbar ist. An ihrem oberen Ende muss eine Schnur angebunden und nach ϑ hingeführt sein, straff angezogen (auch schon) wenn der Deckel heruntergegangen ist. Schieben wir nun durch einen Druck auf das Ende der Taste bei β' den Deckel nach innen, so wird die Feder durch die Schnur angezogen und ihre Krümmung mit Gewalt gerade gebogen; lassen wir aber die Taste los, dann wird die Feder sich wieder in


Fig. 52.

ihre ursprüngliche Lage zurückbiegen und den Deckel von der Mündung wegziehen, so dass das Loch verschoben wird. Da nun bei jedem einzelnen Kästchen dieselbe Vorrichtung angebracht ist, brauchen wir nur, wenn einige Pfeifen tönen sollen, die betreffenden kleinen Hebelarme mit dem Finger niederzudrücken; wenn sie dann nicht mehr klingen sollen, heben wir die Finger auf, die Deckel schieben sich heraus und die Töne hören auf.«

Auch hier ist der Heronsball nicht verwendet. Hat auch der Windkessel einige Ähnlichkeit mit ihm, so ist diese nur äußerlich. Denn die Luft wird nicht durch das Wasser, sondern durch den Kolben zusammengepresst und das Wasser im altarförmigen Behälter dient nur dazu, einen leicht beweglichen Abschluss für die Luft zu liefern. Übrigens fehlt auch eine Vorrichtung, welche den Rückgang der Luft beim Herabziehen des Kolbens verhütet, und deshalb legte Vitruv zwischen dem Windkessel und den einzelnen Pfeifenkästchen noch vier bis acht Zwischenkammern, die durch Ventile gegen den Windkessel abgesperrt werden sollten und die mit dem Wind, den sie von unten erhalten, etwa 3 bis 4 gegenüberliegende (ordinata in transverso) Pfeifen speisen sollen[1].

Auch den Wind wollte Ktesibios zum Betrieb des Pumpkolbens verwenden. In der Weise, wie Fig. 53 dies andeutet, dürfte dies allerdings

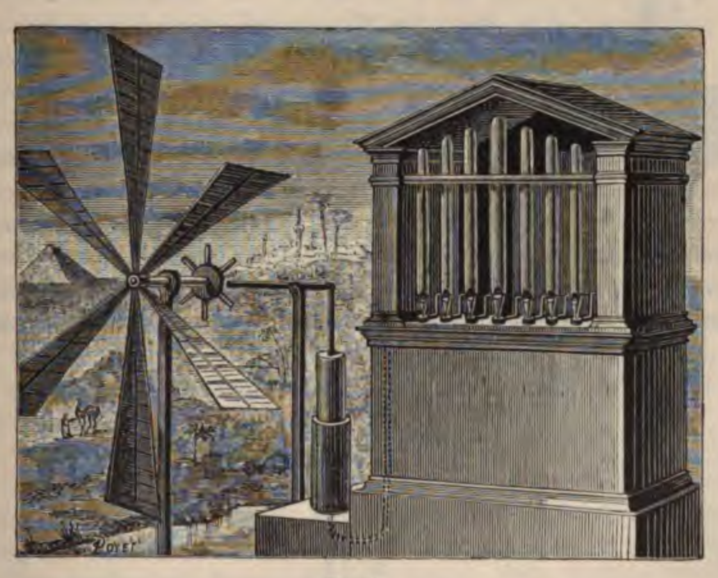


Fig. 53.

nicht mit Vorteil möglich gewesen sein, eher wenn er den Kolben der eben beschriebenen Einrichtung vom Winde bewegen ließ.

1) v. Jan, a. a. O., S. 566 u. 567.

Lediglich den Anwendungen ist endlich die Schrift Herons gewidmet, welche den Namen Dioptrik trägt. Das Wort hat aber nicht dieselbe Bedeutung wie gegenwärtig, wo es die Lehre von der Brechung der Lichtstrahlen umfasst. Für Heron ist es die Lehre von den Diopteru, den wichtigsten Messinstrumenten der Geometer seiner Zeit, deren Beschreibung er dann noch einige weitere Apparate anschließt. Das Diopter zeigt, allerdings wohl in modernisierter Rekonstruktion von Vincent[1]) Fig. 54. Es besteht aus einer Säule mit drei drehbaren Füßen, die mittels eines Senkels lotrecht gestellt werden kann. Auf ihr ist drehbar um eine horizontale Achse mittels der Schraube B und um eine vertikale mittels der Schraube K das eigentliche Diopter aufgestellt, ein vier Ellen langes Lineal, welches an beiden Seiten Plättchen mit kreuzförmigen Einschnitten zum Hindurchvisieren trägt und vermöge seiner bedeutenden Länge eine ziemlich sichere Einstellung verbürgt. Um das Lineal auch in eine Horizontale zu stellen, dazu benutzte man eine Wasserwage oder besser Kanalwage, zwei kupferne Röhrchen mit zwei angekitteten etwa 12 Fingerbreiten langen Glasröhrchen, in denen das Wasser sich gleich hoch stellen musste[2]), so dass also hier das Prinzip der kommunizierenden Röhren in Anwendung kam. Die zu den Dioptern gehörigen Signalstangen unterschieden sich nur wenig von unseren Messlatten. Bleisenkel ließen sie senkrecht stellen, eine aufgetragene Teilung Höhen ablesen. Das geschah mit Hilfe einer verschiebbaren, kreisrunden Scheibe, deren beide Hälften von schwarzer und weißer Farbe in einem horizontalen Durchmesser zusammentreffend, Sichtbarkeit auf größere Entfernungen und genaue Einstellung und Ablesung ermöglichten.



Fig. 54.

Zur Herstellung einer horizontalen Ebene diente der vielgenannte Chorobates, zum Messen des von Schiffen oder Wagen zurückgelegten Weges das Hodometer, wie es Heron nennt. Der Chorobates (Fig. 55) bestand aus einem etwa 20 Fuß langem Lineal mit zwei Senkeln auf beiden Seiten, mit deren Hilfe man es wagerecht stellen konnte, was

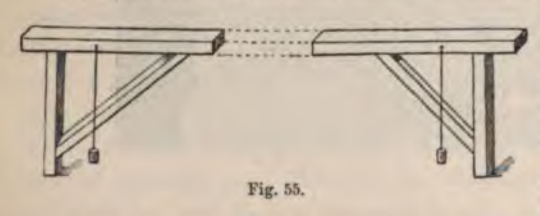


Fig. 55.

1) Vincent, Mémoires de l'Académie des inscriptions et belles-lettres en 1858.
2) Libri, Histoire des Sciences mathématiques en Italie. T. I. S. 56.

sich mit noch größerer Genauigkeit erreichen ließ, wenn man auf der Latte eine schmale Rinne zur Aufnahme von Wasser anbrachte. Das Hodometer war ein Zählwerk von der auch jetzt noch gebräuchlichen Art, welches durch das Spillenrad *M* in Bewegung gesetzt werden musste.

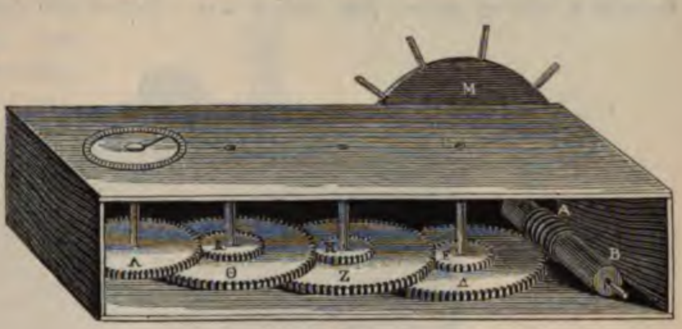
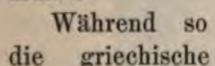


Fig. 56.



Während so die griechische Wissenschaft auf afrikanischem Boden zu hoher Blüte gelangte und namentlich der Beobachtungs- und Experimentierkunst eine mächtige Förderung angedeihen ließ, war sie in dem eigentlichen Griechenland fast ganz erloschen und es ist bezeichnend, dass die letzte Leistung, zu der sie sich an ihrem alten Sitz in Athen aufschwang, einen Macedonier zum Urheber hatte. Es war dies Andronikos aus Kyrrhos (Cyrrestes), welcher etwa zur Zeit des Ktesibios dort ein meteorologisches Observatorium errichtete, welches, wie es als »Turm der Winde« jetzt noch erhalten ist, Fig. 57 auf S. 54 wiedergiebt[1]. Ein achteckiges, turmartiges, ganz aus Marmor ausgeführtes Gebäude, dessen Seiten ein Fries in Basrelief mit den Darstellungen der Aeolussöhne zierte, trug auf seinem höchsten Punkte eine Windfahne in Form eines beweglichen Tritons, der mit einer Rute nach der Richtung, aus welcher der Wind wehte, hinwies. Eine auf der Außenseite angebrachte Sonnenuhr ließ die Zeit ablesen. Aus noch erhaltenen Vorrichtungen im Inneren wird man schließen dürfen, dass hier sich noch eine Uhr, eine der Ktesibiosschen nachgebildete Wasseruhr befand. Nach den Angaben Vitruvs und Varros scheint man nach dem Muster dieses Turmes in Rom einen ähnlichen errichtet zn haben[2].

5. Die Römer und die jüngeren Alexandriner.

Die Römer sind in den Naturwissenschaften nicht selbständig schaffend aufgetreten, als ein nicht geringes ist indessen das Verdienst ihnen anzurechnen, dass sie die von ihnen benutzten griechischen Erfindungen uns aufbewahrt, hier und da auch wohl vervollkommnet haben. Wie wichtig Vitruv und dies nicht zum wenigsten wegen seines vollständigen Mangels an Selbständigkeit für die Kenntnis der Leistungen des Archimedes und der Alexan-

1) Siehe Leake, Topographie von Athen. S. 151 der Übersetzung und Stuart, The Antiquities of Athen. Bd. I. Kap. 3. — Vitruv, a. a. O. I. 6, 4 f.

2) Varro, De re rustica. III. 5.

driner geworden ist, hat unsere Darstellung des öfteren bewiesen. Indem er aber die Maschinen jener beschreibt, giebt er uns zugleich die Form derselben, die zu seiner Zeit üblich war. Hatten wir die Feuerspritze und



Fig. 57.

die Wasserorgel des besseren Zusammenha ges wegen schon früher beschrieben, so führen wir hier noch ein
Einzelheiten von dem praktischen Sinne
Flaschenzug, der nach Anzahl der Rollen

1) Terquem, La science romaine à l'é

wird, ist an der Spitze eines Dreibeins befestigt. Drei an Pflöcken, welche in die Erde getrieben sind, befestigte Taue dienen dazu, die drei Stützen aufrecht zu halten; das Kraftseil wird mit Hilfe eines Haspels bewegt, welchen ein ebenso befestigter vierter Pflock festhält. Auch eine **Wassermühle mit Zahnradbetrieb** schildert uns der römische Baumeister.



Fig. 58.

Schon sein Amt brachte es mit sich, dass er sich für die Einrichtung der ja auch im Römerreiche so wichtigen Theater und Cirkus besonders interessierte, und so waren es denn auch namentlich die Schallgefäße des Theaters von Korinth, welche nach der Zerstörung der reichen Handelsstadt nach Rom gebracht worden waren, um im Tempel der Luna aufgestellt zu werden, die er einem eingehenden Studium unterwarf. Er kam zu dem Ergebnis, dass solche Gefäße in entsprechendem Verhältnis zur Größe des Theaters verfertigt und so gestimmt werden müssten, dass sie den Klang der Quarte, Quinte u. s. w. bis zur Doppeloktave beim Anschlagen gäben. Unter den Sitzen in besonderen Kammern so aufgestellt, dass sie keine Wand berührten, würden sie dann den Schall, der von der Bühne, als Mittelpunkt ausgehend, an die Höhlungen dieser Gefäße gelange, besser hörbar machen. Bei den aus Brettern erbauten Theatern bedürfe man solcher Vorrichtungen nicht, da das Bretterwerk an und für sich töne.

Beruhten nun auch diese Vorrichtungen auf haltlosen Voraussetzungen, so waren doch die Vorstellungen, die **Vitruv** von der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft hatte, keineswegs unrichtige. »Die Stimme aber«, sagt er[1], »ist ein fließender Lufthauch, und infolge der Berührung durch das Gehör vernehmlich; sie bewegt sich in unendlich kreisförmigen Rundungen fort, wie in einem stehenden Wasser, wenn man einen Stein hineinwirft, unzählige Wellenkreise entstehen, welche wachsend sich soweit als möglich vom Mittelpunkte ausbreiten, wenn nicht eine enge Stelle sie [illegible]cht oder irgend eine Störung eintritt, welche nicht gestattet, dass [illegible]förmigen Wellen bis ans Ende gelangen. Denn so bringen die [illegible]kreise, wenn sie durch Störungen unterbrochen werden, zurück-

[illegible] a. O. V, 3, 6f.

wogend die Kreislinien der nachfolgenden in Unordnung. Nach demselben Gesetze bringt auch die Stimme solche Kreisbewegungen hervor, aber im Wasser bewegen sich die Kreise nur in der Breite fort; die Stimme aber schreitet einerseits in der Breite vor und steigt andererseits stufenweise in die Höhe empor«.

Möglichenfalls ist die Schnellwage, die ja auch jetzt noch den Namen der römischen führt, das einzige Instrument, welches die Römer selbständig erfunden haben. In der altrömischen Zeit brauchte man sie bereits zur Bestimmung kleiner Gewichte, während die zweiarmige Wage bei größeren in Verwendung kam. Die Wagen und Gewichte wurden vielfach künstlerisch gestaltet, wie Fig. 59 erkennen lässt. Auch suchte man die Vorteile der Schnellwage mit denen der zweiarmigen in ähnlicher Weise zu vereinigen, wie es jetzt durch Anwendung des Reiters geschieht. So ist bei einer in Pompeji ausgegrabenen zweiarmigen Wage der Balken geteilt und es kann ein Gewicht auf ihm verschoben werden[1].

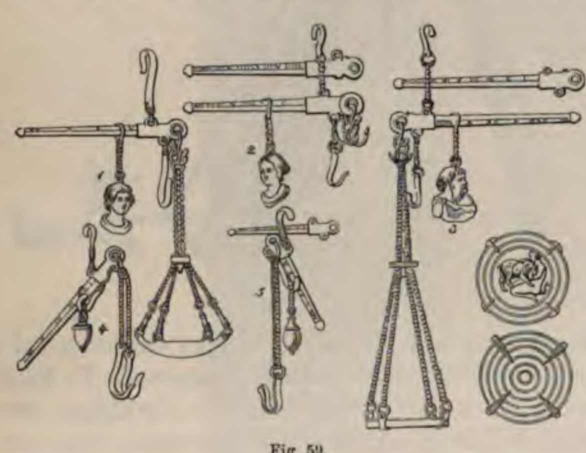


Fig. 59.

Dass sich übrigens die Römer auch einzelnen, sich ihnen aufdrängenden Beobachtungen nicht verschlossen, beweisen einzelne Stellen aus den Werken Senecas (gest. 65 n. Chr.), des älteren Plinius (gest. 79 n. Chr.) und des Offiziers und Ingenieurs Frontinus (gest. um 103 n. Chr.).

So bemerkte Neros Lehrer die vergrößernde Wirkung einer mit Wasser gefüllten Kugel[2], auf deren Benutzbarkeit als Brennglas Plinius dann aufmerksam machte, so beobachtete er weiter, dass ein mit Längskerben versehener Glasstab, auf den von der Seite Sonnenstrahlen fallen, die Farben des Regenbogens zeigt; er unterscheidet Rot, Gelb und Blau als Hauptfarben und macht darauf aufmerksam, dass diese Farben durch unzählige Farbentöne ganz unmerklich ineinander übergehen[3], und wäre dies wohl

---

1) Overbeck, Pompeji. 4. Aufl. Leipzig 1884. Fig. 245.

2) Seneca, Naturalium quaestionum I, 6, 5; Literae, quamvis minutae et obscurae, per vitream pilam aqua plenam maiores clarioresque cernuntur.

3) Ebenda, I. 7, 1: Virgula solet fieri vitrea, striata vel pluribus angulis in modum clavae torosa: haec, si in transversum solem accipit, c[illegible]
arcu videri solet, reddit .... ebend. 3, 4: Videmus in eo [illegible]
aliquid lutei, aliquid caerulei et alia in picturae modum [illegible]
...... an dissimiles colores sint scire non possis, ni[illegible]

die erste Beobachtung der Farbenzerstreuung durch ein Prisma. Frontinus aber fand den Satz, dass die Menge des aus einem Gefäße ausfließenden Wassers nicht bloß von der Größe der Öffnung, sondern auch von der Höhe des Wasserspiegels im Gefäße abhänge[1]).

Optische Untersuchungen waren es auch, um derentwillen wir den Alexandriner, dessen Darstellung des Planetensystems bis auf Tycho Brahe in unbestrittener Giltigkeit blieb, um derentwillen wir Claudius Ptolemaios zu erwähnen haben. Er lebte in der ersten Hälfte des zweiten Jahrhunderts nach Christi Geburt und stellte Versuche zur Ermittelung des Brechungsgesetzes an, deren Ergebnisse uns auch im einzelnen aufbewahrt worden sind. Da er der erste ist, von dem wir Versuchsresultate besitzen, so hat man irrtümlicher Weise dies so dargestellt, als sei er der erste oder einer der ersten gewesen, welcher Versuche gemacht habe[2]). Die Ergebnisse seiner Arbeiten hat er in seiner Optik niedergelegt[3]), den Apparat, den er zu seinen Versuchen benutzte, stellt nach seiner Beschreibung Fig. 60 dar. Er tauchte einen in 360° geteilten Kreis, der zwei um eine Achse drehbare, mit Öffnungen versehene Lineale trug, bis zur Mitte in Wasser und rückte das untere Lineal so, dass die Stifte b, c und g eine gerade Linie bch zu bilden schienen. Dann nahm er den Kreis aus dem Wasser und verglich die Winkel fb und ga. Er fand als zusammengehörige Werte die folgenden:

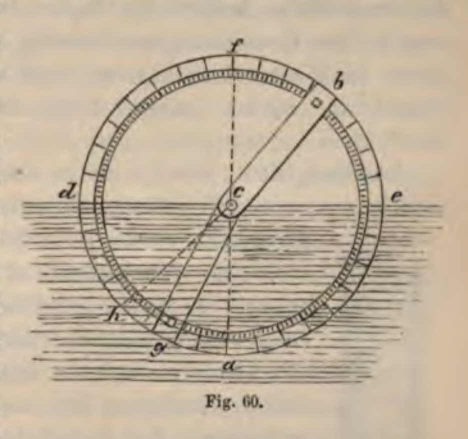


Fig. 60.

Einfallswinkel	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Brechungswinkel	8°	$15^1/_2{}^\circ$	$22^1/_2{}^\circ$	28°	35°	$40^1/_2{}^\circ$	45°	50°,

woraus sich ein Brechungskoëffizient zu 1,311 mit einem mittleren Fehler von 0,014 ergeben würde. Was also mit seinem einfachen Apparate zu erreichen war, hatte Ptolemaios erreicht. Das Gesetz, dass bei der Brechung aus dem weniger dichten in das dichtere Mittel der Strahl zum Einfallslote hin, bei umgekehrter Anordnung von ihm weg gebrochen wird, ermittelte er aus seinen Versuchen.

Ptolemaios war der letzte Alexandriner, welcher selbständig arbeitete. Zwar blieb das Museum bestehen, aber seine Mitglieder beschäftigten sich außer mit gelegentlichen mathematischen Untersuchungen nur noch mit dem ·um und der Auslegung dessen, was ihnen ihre Vorgänger hinterlassen

tus Julius Frontinus, De aquis urbis Romae. Rec. Buecheler. Lipsiae 1858.
ndorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879. S. 27.
ios, Optica. Buch V. — Delambre, Connaissance du temps. 1816.

hatten. Die gelehrte Tochter des Mathematikers Theon, die unglückliche Hypatia, müssen wir gleichwohl noch erwähnen, freilich nicht um ihrer Arbeiten willen, als aus dem Grunde, dass ein Brief des Bischofs von Ptolemais, Synesios, an sie erhalten ist, in welchem zum erstenmale des Aräometers, und zwar des Volumenaräometers, gedacht wird.

Folgendes ist der Wortlaut dieses Briefes[1]: »So ganz übel befinde ich mich, dass ich ein Hydroskopium nötig habe. Gieb den Auftrag, dass es hergestellt und angekauft werde. Die Röhre ist cylindrisch und hat die Gestalt und Größe einer Flöte. Sie enthält auf einer geraden Linie die Einschnitte, mit denen wir das Gewicht der Flüssigkeiten prüfen. Als Deckel verschließt sie ein in horizontaler Lage befindlicher Zapfen, so dass die Grundfläche beider, des Zapfens und der Röhre, die nämliche ist. Das nun ist das Instrument zur Messung der Schwere. Jedesmal wenn du die Röhre in Wasser hinablässest, wird sie aufrecht stehen und wird dich die Einschnitte zählen lassen. Diese aber sind die Erkennungszeichen des Gewichtes«.

Das Baryllium, wie Synesius das Instrument nennt, hatte demnach die in Fig. 61 gegebene Form, und aus seinem Briefe scheint zu folgen, dass es damals etwas ganz Neues gewesen sein müsse, denn sonst hätte der das Instrument bedürfende Bischof doch nicht nötig gehabt, es seiner gelehrten Freundin so genau zu beschreiben. Dem stehen aber die Ansichten derer gegenüber, welche dem Archimedes sowohl die Aufstellung des Begriffes des spezifischen Gewichtes wie auch die Erfindung des Aräometers zuschreiben. Zur Begründung dieser Annahmen berufen sie sich auf ein Gedicht, welches unter dem Titel: De Ponderibus et Mensuris sich zwar meist den Werken des Grammatikers Priscianus, der um 500 in Konstantinopel lebte, angefügt findet, doch aber von einem Zeitgenossen des Kaisers Tiberius, der bald Rhemnius Fannius Palaemon, bald Favinus oder Favinianus genannt wird, herrühren soll. Um über die Zeit der Erfindung des Aräometers zu entscheiden, wird man also zunächst suchen müssen, das Alter jenes Gedichtes zu bestimmen, sodann aber zu prüfen haben, ob andere Schriftsteller der ersten Jahrhunderte derartige Instrumente oder wenigstens den Begriff des spezifischen Gewichtes kennen.

Fig. 61.

Hinsichtlich des Verfassers und Alters der Schrift: De Ponderibus et Mensuris wird für uns die Ansicht, welche Hultsch[2]) ausspricht, maßgebend sein. Er glaubt nicht, dass das Gedicht von Priscianus herrührt, sondern von einem unbekannten Verfasser. Die Frage nach der Zeit seiner

---

1) Joh. Christ. Wolfius, Mulierum Graecarum Fragmenta et Elogia. Göttingen 1739. S. 74. S. auch Epistolographi graeci. Rec. Hercher. 1

2) Fr. Hultsch, Metrologicorum scriptorum Reliqu

Lipsiae 1866. § 118. S. 26.

Abfassung lässt er unentschieden, hält es aber für das wahrscheinlichere, dass das Gedicht am Ende des 4. oder Anfang des 5. Jahrhunderts n. Chr. entstanden sei. So wird es denn für uns von besonderer Wichtigkeit sein, die Zeugnisse der Schriftsteller aus der obengenannten Zeit zu prüfen, und glücklicherweise berühren sowohl **Seneca**, wie **Plinius** und **Galen** die Frage in einer Weise, die klar zeigt, dass der Begriff des spezifischen Gewichtes ihnen noch nicht bekannt war. Wie hätte sonst der erstgenannte sich so schwerfällig ausdrücken können, wie er es bei Erörterung der Frage der schwimmenden Körper that. »Jedwedes Ding«, sagt er[1], »wäge ab und stelle es Wasser gegenüber, bis beider Raummenge gleich ist. Ist nun das Wasser schwerer, so wird es den Gegenstand tragen, der leichter als es selbst ist, und es wird ihn so weit über sich herausheben, als er leichter ist: das schwerere wird hinabsinken. Wenn dagegen das Gewicht der Wassermenge und des gleich großen Dinges das nämliche ist, wird letzteres nicht nach dem Boden gehen, noch herausragen, sondern mit dem Wasser im Gleichgewichte bleiben: es wird zwar schwimmen, aber fast in das Wasser eingetaucht, und so, dass es an keinem Teile herausragt. Das ist der Grund, warum gewisse Balken über dem Wasser, fast ganz herausgehoben, getragen werden, warum andere bis zur Hälfte untergetaucht sind, andere so weit einsinken, dass ihre Oberfläche im Niveau des Wassers liegt«. Fast noch mehr beweisen die Worte des älteren **Plinius**[2]: »Einige geben sich vergebliche Mühe, die Zuträglichkeit (des Wassers) mit der Wage zu untersuchen, da es sehr selten ist, dass eines leichter sei«. Denn gerade zu diesem Zwecke wollte ja **Synesius** das Aräometer benutzen. Und dass auch im 2. Jahrhundert n. Chr. das bequeme Instrument noch unbekannt war, folgt aus dem bereits erwähnten Versuche **Galens**[3] mit dem Ei und der Salzlake, über den er sich äußert: »Aber man hat bereits für das Einsalzen ein Maß dafür angegeben, dass die vorhandene Lake gehörig gemischt ist, wenn es sich zeigt, dass ein Ei darin schwimmt; sinkt es noch hinab und schwimmt noch nicht an der Oberfläche, so ist die Lake zu wässerig und süß«.

Die Beschreibung des Aräometers durch **Synesius** ist also die älteste, die auf uns gekommen ist. Das Instrument ist demnach wohl erst im 4. Jahrhundert n. Chr. aufgekommen und zuerst zu medizinischen Zwecken benutzt. Viel früher kann der Begriff des spezifischen Gewichtes also auch nicht festgesetzt worden sein[4]. Darauf weisen die angeführten Stellen auch insofern hin, als die darin ausgesprochenen Gedanken nur wenig weiter

---

1) **Seneca**, a. a. O. Lib. III. 25, 5f.

2) **Plinius Secundus**, Nat. hist. XXXI, 38.

3) *Γαλήνου περὶ κράσεως καὶ δυνάμεως τῶν ἁπλῶν φαρμάκων.* Opera omnia. [illegible] Vol. XI. S. 691.

4) **Gerland**, Zur Geschichte der Erfinduog des Aräometers. **Wiedemanns** [illegible] [L]eipzig 1877. S. 150.

geführt werden müssen, um sowohl den Begriff des spezifischen Gewichtes als auch das Aräometer zu ergeben.

II.

Geschichte der Experimentierkunst im Mittelalter.

Die Byzantiner und Araber.

Mit der Aufnahme der Idee der Weltherrschaft hatte das Römerreich seine Daseinsbedingungen immer mehr untergraben. Die Bestrebungen, seine Grenzen nach allen Seiten ins Ungemessene auszudehnen, hatten jugendkräftige, aber noch ganz kulturlose Völkerschaften mit den Schätzen der Kultur bekannt gemacht, ihre Einstellung in die römischen Heere Gefahren auch im Innern des Reiches heraufbeschworen. Woher aber sollte dieses die Kraft nehmen, solche zu bestehen? Es war morsch geworden und den Forderungen der Zeit nicht gewachsen geblieben. Die griechische Philosophie befriedigte nicht mehr die Sehnsucht nach Glück in der Menschenseele. Wohl wurde sie noch in den Schulen geübt, wohl beschäftigte sich noch mit ihr, wen seine günstige Lebensstellung vor der Not des Daseins sicherte, aber eine Macht über die Geister übte sie nicht mehr aus und die von der Not immer härter bedrängten suchten immer dringender Hilfe. Ihnen gewährte sie das Christentum, indem es ihr Sinnen und Trachten von dieser Welt abkehrte. Feindselig trat es mit Notwendigkeit der innerlich erstorbenen Philosophie entgegen, deren Jünger ja Heiden waren, und in ihnen wankten die letzten Stützen des Reiches. Zunächst zerfiel es in eine östliche und westliche Hälfte. Während diese bald den Angriffen der germanischen Völker unterlag, fristete jene noch während eines weiteren Jahrtausends ein in Äußerlichkeiten längst erstarrtes Dasein.

Solche Verhältnisse waren nicht geeignet, die Pflege der Wissenschaften zu fördern. Denn sie schien eins zu sein mit dem, was die aufstrebenden Mächte als der Vernichtung geweiht erachteten, und wie groß die Verluste sind, welche sie der Wissenschaft zugefügt haben, ist in der Mangelhaftigkeit der Berichte, welche in den vorhergehenden Abschnitten unserer Schilderung so oft zu beklagen war, zur Genüge hervorgetreten. Zu Anfang des fünften Jahrhunderts zerstörten fanatische Mönche mit den heidnischen Tempeln und Bibliotheken auch die des Serapeums in Alexandrien, wo Ptolemaios gearbeitet hatte, und wenn damals auch in Byzanz eine höhere Lehranstalt gegründet wurde, so sah die Zeit des ersten Justinian die altberühmten Schulen Athens und Alexandriens schließen, ihre Lehrer vertreiben. Was wollten dagegen die Leistungen jenes Leo (um 850) bedeuten, dessen Automaten in Alexandrinischen Werken ähnlicher Art ihre Vorbilder hatten. Die Pracht der Ausführung musste ihren Mangel an Originalität verdecken, und wenn sie ihm auch Ruhm genug einbrachten,

wenn man ihm den Besitz geheimer Zauberkünste nachrühmte in einer Zeit, wo es an Besserem fehlte, hatte das wenig zu bedeuten. Gewiss, sie lassen erkennen, dass die Technik eher vorwärts wie rückwärts gegangen war, aber sie zeigen auch, dass die Wissenschaft Fortschritte nicht aufzuweisen hatte.

Den einen Vorteil hatten in einzelnen Fällen die traurigen, namentlich auch religiösen Zwistigkeiten, dass sie, indem die Sieger die Unterliegenden verbannten, diese die Schätze der Kultur weithin verbreiten ließen. So brachte die Vertreibung des Patriarchen von Konstantinopel, des Antiochiers Nestorius und seiner Anhänger in der Mitte des 5. Jahrhunderts nach Persien die Schätze griechischer Wissenschaft in den fernen Osten, von wo ihre Vertreter, später an den Hof der Abbasiden gerufen, wohl mit zu dem Aufschwunge, den die Wissenschaft in Bagdad nahm, beigetragen haben mögen. Dort hatten die Herrscher der Araberscharen, die der Glaube an die Lehre Muhammeds zu wilder Eroberungswut begeistert hatte, sich nach Besitzergreifung eines großen Teiles des alten Römerreiches dauernd niedergelassen, nur in Spanien hatten sie sich nicht behaupten können. Es bildete ein Kalifat für sich. Hier wie dort suchten nun die Kalifen ihren Gebieten die Segnungen des Friedens zu bringen, und die Pflege der Wissenschaften war es vor allem, die sie sich angelegen sein ließen. Haben sie uns so in arabischen Übersetzungen manche Werke griechischer Schriftsteller, welche im Urtext uns verloren gegangen sind, erhalten, so haben sie doch auch andererseits selbständige Forschungen aufzuweisen, welche befruchtend wirkten und die germanischen Völker zur Weiterbildung aufforderten, nachdem auch diese nach mannigfachen Heerfahrten sich in den eroberten Gebieten dauernd festgesetzt hatten.

Vor allen anderen Naturwissenschaften war es die eigentlichste Lehre Ägyptens, die Chemie, die die Araber selbständig bearbeiteten, und nicht wenige in ihr noch übliche Bezeichnungen weisen auf die durch jene bedingten Fortschritte zurück. Schon der erste ihrer bedeutenderen Forscher, der 702 in Mesopotamien, nach anderen in Chorasan geborene Abû Musâ Dschâbir, den das Abendland unter dem Namen Geber kannte, übte sie am Hofe zu Cordova mit großem Erfolge. Neben der Chemie waren es die optischen Probleme und die Methoden zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes, womit sich die Araber mit Vorliebe beschäftigten.

Wenn Leo Africanus, der im 15. Jahrhundert schrieb, uns recht berichtet, so war Geber von christlichen Eltern geboren und erst später zum Islam übergetreten. Er lernte mehrere Metalle, die den Alten noch unbekannt gewesen waren, wenigstens in ihren Erzen kennen, verstand es, Metalle zu oxydieren und zu legieren, war mit den Schwefelverbindungen einigermaßen vertraut, stellte aus Alaun und Essig Schwefelsäure dar und gewann aus Salpeter und Schwefelsäure die Salpetersäure. Dazu musste er die Destillation verwenden, welche er, wie die Umkrystallisation und das Filtrieren, auch zum Reinigen seiner Präparate nötig hatte. Noch war

seine Zeit geneigt, nach dem Vorgange der Griechen alle Kräftewirkungen auf geistige Kräfte zurückzuführen, und auch er hegte diese Ansicht, in der er bestärkt wurde durch die folgende Beobachtung am Magneten: »Ich hatte«, schreibt er[1]), »einen Magneteisenstein, der 100 Dirhem Eisen aufhob. Ich ließ ihn einige Zeit liegen und näherte ihn einem anderen Eisenstücke und er trug dieses nicht. Ich glaubte, das zweite Eisenstück sei schwerer wie 100 Dirhem, die er doch zuerst trug, und wog es, und siehe da, es wog nur 80 Dirhem. Es hatte also die Kraft des Magneten abgenommen, seine Größe aber war unverändert geblieben«.

Mit der Optik hat sich namentlich beschäftigt und seine erhaltenen Ergebnisse auf das weitläufigste beschrieben der 1038 in Ägypten verstorbene Abû Alî Muhammed ben el Hasan ibn el Haitam el Basri, den das Abendland Al Hazen nannte und der mehrfach mit dem etwas jüngeren Cordovanischen Arzte Abd el Rahman ben Ishak ben el Haitam verwechselt worden ist[2]). Von Al Hazens umfassendster optischer Schrift, die das ganze Gebiet dieses Teiles der Physik, so weit es damals bekannt war, behandelt, findet sich ebenfalls eine arabische Handschrift in Leiden. Im Abendlande wurde sie durch die Übersetzung bekannt, welche 1572 Risner[3]) herausgab und welche, wenn auch meist in etwas kürzerer Fassung, den Urtext genau wiedergiebt. Auch die mitgeteilten Figuren sind bis auf eine in der Handschrift enthalten[4]). Von Al Hazens sonstigen Arbeiten sind für uns noch seine Abhandlungen über das Licht[5]) und über die Brennkugel[6]) von Wichtigkeit.

Al Hazens Optik enthielt die Lehre vom Sehen (Orthoptik), die Reflexion und die Brechung des Lichtes. Das Sehen geht nach seiner Ansicht so vor sich, dass ein Bild vom Gesehenen sich zum Auge fortpflanzt, und die Einheit der Bilder in beiden Augen kommt dadurch zu stande, dass die entstandenen Bilder sich in dem gemeinsamen Sehnerven vereinigen und daher auf die Seele den Eindruck eines einzigen machen. Von dem Auge selbst, dessen Beschreibung er aus anatomischen Schriften entlehnt

1) Buch der Barmherzigkeit in Cod. 440 Gol. der Leydener Bibliothek. Fol. 87 v bis 95 r; in Übersetzung mitgeteilt von E. Wiedemann in Wied. Ann. 1878. Bd. IV. S. 320.

2) E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften bei den Arabern. VII. Wied. Ann. 1882. Bd. 17. S. 350.

3) Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis libri VII nunc primum editi. Ejusdem liber de Crepusculis et nubium ascensionibus. Item Vitellionis Thuringopoloni libri X. Omnes instaurati figuris illustrati et aucti adjectis etiam in Alhazenum commentariis a Frederico Risnero. Basileae 1572; vgl. auch L. Schnase, Die Optik Alhazens. Progr. des Friedr. Gymn. zu Stargard 1889.

4) E. Wiedemann, Zur Geschichte der Brennspiegel. Wied. Ann. 1890. Bd. 39. S. 114.

5) E. Wiedemann, Über »Die Darlegung der Abhandlung über das Licht« von Ibn al Haitam. Wied. Ann. 1883. Bd. 20. S. 337. Auch Baarmann, Ibn al Haitams Abhandlung über das Licht. Inaug.-Diss. Halle 1882 und Ztschr. d. deutsch. morgenländ. Gesellschaft. 1882. Bd. 36. S. 195.

6) E. Wiedemann, Beiträge zur Gesch. der Naturwissenschaften bei den Arabern. V. Wied. Ann. 1879. Bd. VII. S. 679.

habe, wie er sagt, giebt er keine ausführliche Zeichnung, die in Fig. 62 mitgeteilte ist von Risner nach seinen Andeutungen hergestellt. Danach besteht das Auge aus drei Flüssigkeiten, dem humor albugineus (aqueus der Figur), dem humor crystallinus (der Krystalllinse) und dem humor vitreus, welche beiden ursprünglich unter der Bezeichnung des humor glacialis zusammengefasst waren, und den sie umhüllenden Häuten, der Tunica consolidativa (jetzt Sclerotica), der cornea, uvea und retina.



Fig. 62.

Da durch die Zerstörung der Krystalllinse das Auge seine Sehkraft einbüßt, so betrachtete Al Hazen sie als den eigentlich empfindenden Teil des Auges. Er verlegt sie in dessen Mittelpunkt und nimmt an, dass nur solche Strahlen, welche senkrecht seine Oberfläche träfen und also, weil ungebrochen hindurchgehend, seinen Mittelpunkt mit dem sie aussendenden Punkte des Gegenstandes verbänden, Ursache einer visio distincta, eines scharfen Bildes, werden könnten. Die Gesamtheit dieser Strahlen bilden die pyramis optica, die Sehpyramide, deren Spitze im Augenmittelpunkte liegt, während ihre Grundfläche die Oberfläche des Gegenstandes ist. Ihre Achse ist die Augenachse. Indessen können auch andere Strahlen zum Sehen, aber nicht zum distinkten Sehen beitragen. Ein Mittel zum Vergrößern des Bildes eines Gegenstandes bietet ein Glaskugelsegment, wenn man dessen gerade Fläche dicht an den Gegenstand halte, die gewölbte dem Auge zukehre. Eigentümlich ist die Folgerung, die er aus der ihm bekannten Wirkung des Farbenkreisels zieht, dessen Farben bei schneller Drehung zu einer aus jenen gewissermaßen gemischten würden. Nicht auf eine längere Dauer des Reizes, sondern auf eine längere für die Fortpflanzung des Lichtes nötige Zeit schließt er daraus, und kam so zu einer Annahme, welche ihn in Gegensatz zu allen seinen Vorgängern auf optischem Gebiete setzte.

Die vorgeführte Ansicht über das Sehen setzt aber die Fortbewegung des Lichtes in geraden Linien voraus, die Al Hazen durch folgenden Versuch nachzuweisen sucht. »Wenn[1]) das Licht der Sonne«, schildert er

1) Ibn Al Haitams Abhandlung über das Licht, übersetzt von Baarmann, a. a. O. S. 15.

ihn, »oder das Licht des Mondes, oder das Licht des Feuers durch einen mäßigen Spalt in ein dunkles Zimmer eintritt, und es ist in dem Zimmer Staub, oder es wird Staub im Zimmer aufgeregt, so wird das durch den Spalt eintretende Licht in dem mit der Luft vermischtem Staube ganz deutlich sichtbar; und es wird auf dem Boden oder an der dem Spalt gegenüberstehenden Wand des Zimmers sichtbar. Und man findet das Licht von dem Spalt bis auf den Boden oder bis zu der dem Spalt gegenüberstehenden Wand auf geradlinigen Bahnen vordringend. Und wenn man an dieses sichtbare Licht zur Vergleichung einen geraden Stab hält, so findet man das Licht in der geraden Richtung des Stabes vordringend. Ist aber im Zimmer kein Staub und das Licht erscheint auf dem Boden oder auf der dem Spalt gegenüberstehenden Wand, und wird dann zwischen das sichtbare Licht und den Spalt ein gerader Stab gestellt, oder zwischen beiden ein Faden fest angespannt und dann zwischen das Licht und den Spalt ein undurchsichtiger Körper gestellt, so wird das Licht auf diesem undurchsichtigen Körper sichtbar und verschwindet von der Stelle, an der es sichtbar war. Wenn man dann den undurchsichtigen Körper in der Raumstrecke hin und her bewegt, welche die gerade Richtung des Stabes einhält, so findet man das Licht immer auf dem undurchsichtigen Körper sichtbar. Es ist somit hieraus klar, dass das Licht von dem Spalt bis zu der Stelle, an der es sichtbar ist, auf geradlinigen Bahnen vorwärts geht.«

Ebenso sorgfältig untersucht Al Hazen die gestörte Fortpflanzung des Lichtes durch Reflexion und Brechung. Sieben verschiedene Arten von Spiegeln unterscheidet er, ebene, konvex und konkav sphärische, konvex und konkav cylindrische und konvex und konkav kegelförmige.

Die Versuche, welche er zum Nachweis der Richtigkeit des Reflexionsgesetzes anstellte, haben für uns nur insofern Interesse, als sie uns zeigten, dass die zu solchen nötigen Apparate in damaliger Zeit etwas ganz ungewohntes waren. Es genügt, wenn wir ganz kurz darauf eingehen.

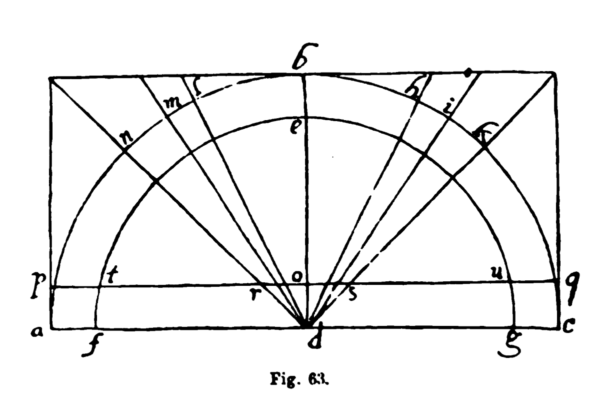


Fig. 63.

In Fig. 63 stellt das Rechteck eine eherne Tafel von etwa 24 cm Länge (*ac*) und 12 cm Breite (*db*) vor, aus der der Halbkreis *abc* herausgeschnitten worden ist. Auf demselben wird der konzentrische Halbkreis *feg* gezogen, von 10 cm Halbmesser, sodann die Linien *nd* und *dk*, so dass sie die Hälften des Halbkreises halbieren und eine beliebige Menge anderer Linien *md*, *ld*, *hd*, *id* u. s. w., so dass *bh* = *bl*, *bi* = *bm* u. s. w. wird. Darauf

werden die Stücke *pard* und *qcsd* weggeschnitten und dafür gesorgt, dass das übrig bleibende Dreieck *rds* bei *d* sorgfältig zugeschärft wird. Um diese Messingplatte für die Versuche aufnehmen zu können, wird nun aus einem 14 cm hohen Holzblock ein Hohlcylinder ausgearbeitet von einem lichten Durchmesser von 10 cm Halbmesser und in 4 cm Höhe eine Vertiefung ausgestemmt, in welche der eherne Halbkreis gelegt werden kann. Das ganze wird auf einem Fußbrett mittels einer in dieses gearbeiteten ringförmigen Vertiefung, in welche der Hohlcylinder passt, eingesetzt. Seine Teilungen werden über die Stirnfläche des Hohlcylinders auf dessen äußeren Mantel übertragen und von diesem aus etwa 3 mm weite Öffnungen so in die Cylinderwand gebohrt, dass ein hindurch gesteckter Holzstab längs der Linien *nd*, *md* u. s. w. die obere Fläche der ehernen Scheibe berührt. Wird nun in die Bodenfläche parallel der Linie *pq* der in den Hohlcylinder eingesetzten ehernen Scheibe eine Vertiefung zu der Aufnahme eines senkrechten Brettchens, auf das dann der zu untersuchende Spiegel gesetzt wird, gestellt und durch eines der Löcher auf der einen Seite Licht fallen lassen, so sieht es der Beobachter durch die entsprechende Öffnung auf der anderen Seite. Die Spiegel waren aus Eisen, die krummflächigen aus einer Kugel-, Cylinder- oder Kegelfläche von entsprechender Größe herausgeschnitten, und mit Ausnahme der Kugel so aufgestellt, dass ihre Seitenlinien senkrecht zum Grundbrette standen. Für alle diese Spiegel fand Al Hazen das Reflexionsgesetz bestätigt.

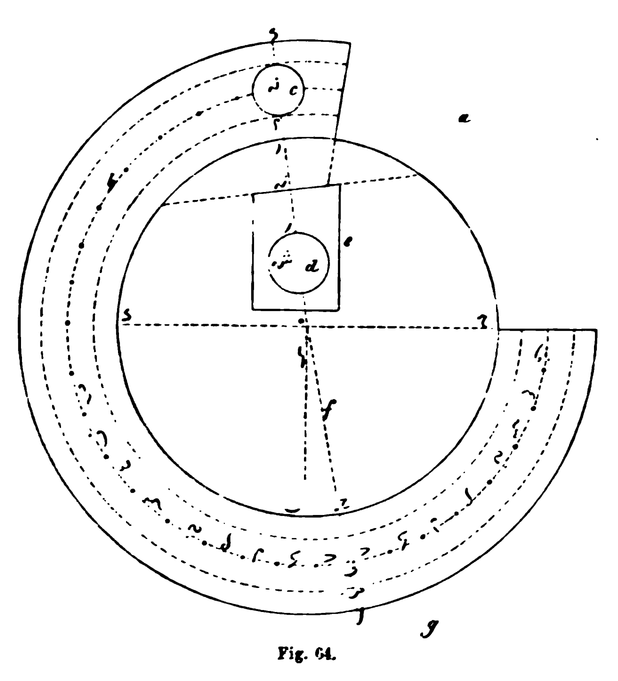


Fig. 64.

Die Beschreibung des Apparates, mittels dessen Al Hazen die Brechung der Lichtstrahlen untersuchte, geben wir nach E. Wiedemanns[1]) etwas abgekürzter Übersetzung der lateinischen Wiedergabe des Urtextes, wie sie sich bei Risner findet. Die Fig. 64 ist die Originalfigur aus der Leydener arabischen Handschrift. Zu deren

1) E. Wiedemann, Über den Apparat zur Untersuchung und Brechung des Lichtes von Ibn Al Haitam. Wied. Ann. 1884. Bd. 21. S. 541.

Verständnis muss festgehalten werden, dass der innere Kreis als der Ebene der Zeichnung parallel gedacht ist, die zum Teil weggeschnittenen konzentrischen Kreise und das Viereck *e* aber als auf dieser Ebene senkrecht stehend angenommen werden, so dass diese konzentrischen Kreise einen zum Teil fehlenden aufrechten Rand der Scheibe vorstellen. Zum besseren Verständnis fügen wir den Apparat bei (Fig. 65), wie er sich aus der Beschreibung in der uns gewohnten Darstellungsweise ergiebt[1]).

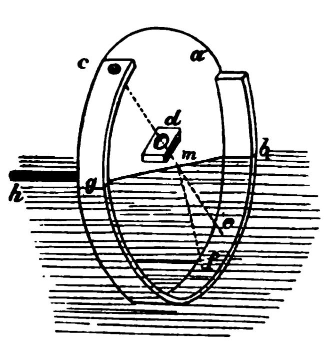


Fig. 65.

In folgender Weise will ihn Al Hazen verfertigen: »Man nimmt[2]) eine runde, ziemlich starke Scheibe aus Kupfer von wenigstens einer Elle[3]) Durchmesser. Sie muss einen Rand haben, der senkrecht auf ihre Oberfläche steht und wenigstens drei Finger breit ist. In der Mitte des Rückens der Scheibe muss sich eine kleine, runde Säule von wenigstens drei Finger Länge befinden, die senkrecht auf der Oberfläche der Scheibe steht.

Dieses Instrument befestigen wir so auf der Drehbank, auf der die Drechsler ihre Kupfergeräte drehen, dass die eine Spitze derselben auf die Mitte der Scheibe, die andere auf die Mitte der kleinen Säule kommt, und drehen den Apparat solange ab, bis die Ränder innen und außen vollständig kreisrund und glatt sind, und die kleine Säule auch kreisrund ist. Hierauf ziehen wir auf der inneren Oberfläche des Instrumentes zwei aufeinander senkrechte Durchmesser, dann bezeichnen wir einen Punkt auf der Basis des Randes des Instrumentes, dessen Abstand vom Ende eines der beiden Durchmesser eine Fingerbreite beträgt. Von diesem Punkte aus ziehen wir einen dritten Durchmesser durch die Mitte der Scheibe. Dann ziehen wir von den beiden Enden dieses Durchmessers aus zwei Linien auf dem Rande senkrecht zur Oberfläche der Scheibe. Auf der einen dieser beiden Linien bezeichnen wir von der Scheibe aus drei etwa um die Länge eines halben Gerstenkornes voneinander abstehende Punkte und ziehen auf der Drehbank durch diese Punkte drei voneinander gleichweit abstehende Kreise, die natürlich die gegenüberliegende kurze Linie gleichfalls in drei gleichweit voneinander abstehenden Punkten schneiden. Dann teilt man den mittleren Kreis (*b*) in 360 Grade und womöglich noch in Minuten. In den Rand bohrt man ein kreisförmiges Loch (*c*), dessen Mittelpunkt der mittlere der obigen drei Punkte ist, und dessen Durchmesser gleich dem Abstand der beiden äußersten ist. Nun nehmen wir ein mäßig dünnes, genau rechteckiges ebenes Stück Blech *d* von der Höhe des Randes und

1) Gerland, Geschichte der Physik. Leipzig 1892. S. 49.

2) Nach Risner, a. a. O. S. 231—233.

3) Eine Elle = 24 Zoll, ein Zoll = 6 Gerstenkörner. 89 Gerstenkörner sind etwa 0,31 m. Es beträgt also 1 Zoll etwa 2 cm und 1 Elle etwa 48 cm.

etwa gleicher Breite. Von der Mitte der einen Seite ziehen wir eine zu dieser senkrechte Linie, auf der wir drei Punkte, die gleichweit voneinander abstehen, bezeichnen. Ihr Abstand a sei dabei gleich den Abständen je zweier der Kreise auf dem Rande. Wir bohren dann in die Platte ein rundes Loch, dessen Mittelpunkt dem mittleren der obigen Punkte entspricht und dessen Radius gleich dem Abstande a ist. Wir erhalten so ein Loch, das vollkommen mit dem im Rande des Instrumentes korrespondiert. Darauf sucht man den Mittelpunkt des Radius, welcher den Mittelpunkt der Scheibe mit der Linie auf dem Rande verbindet, auf welcher sich das Loch befindet und zieht durch ihn eine Senkrechte zu dem Radius; längs dieses befestigt man nun vollkommen fest das kleine Blech, so dass die Mitte desselben genau auf den Radius zu liegen kommt, die kleine Öffnung in ihm liegt dann genau derjenigen auf dem Rande gegenüber.« Und weiter: »Hierauf schneidet man aus dem Rande des Instrumentes dasjenige Viertel aus, welches an das Viertel sich anschließt, in welchem sich das Loch befindet, und welches durch die zwei ersten Durchmesser bestimmt ist und gleicht den Rand genau ab. Hierauf nimmt man ein quadratisches Stück Metall, von eher mehr als einer Elle Länge und feilt die Flächen desselben möglichst senkrecht zu einander ab. In der Mitte desselben bohrt man ein Loch senkrecht zu der einen Fläche, so dass sich der oben erwähnte säulenförmige Teil schwierig in demselben drehen lässt. In dieses Loch setzt man den säulenförmigen Teil ein. Von dem Metallstück schneidet man soviel ab, dass es gleich steht mit dem Rande der Scheibe und legt die beschnittenen Enden auf die Enden des Metallstückes und verbindet sie mit demselben. Zweckmäßig ist es, durch das Ende der kleinen Säule, die aus der Öffnung im quadratischen Stück hervorragt, einen kleinen Stift zu treiben.«

So ist es möglich, das Instrument soweit in eine Flüssigkeit zu tauchen, dass deren Oberfläche genau mit einem seiner Durchmesser zusammenfällt. Treten dann Sonnenstrahlen durch die beiden Öffnungen, so kann man leicht beobachten, wo sie im Wasser den geteilten Rand treffen und somit Einfallswinkel und Brechungswinkel leicht ablesen.

Von dem hier beschriebenen Apparate giebt auch Risner in dem »Opticae Thesaurus« eine Figur (Fig. 66, S. 68), die aber wenig geeignet ist, dem Leser eine deutliche Vorstellung von der Konstruktion desselben zu verschaffen. Wir haben sie hier aufgenommen, weil sie einiges historisches Interesse in Anspruch nimmt.

Die Ergebnisse, die Al Hazen mit diesem Apparate erhielt, hat er in der Abhandlung über das Licht auseinander gesetzt. Nach der Übersetzung von Baarmann[1]) drückt er sich dort folgendermaßen aus: »Zwei durchsichtige, an Durchsichtigkeit verschiedene Medien seien gegeben und der

1) Baarmann, a. a. O. S. 33 u. 34.

Punkt A (Fig. 67) liege in dem dünneren Medium, und durch den Punkt A sei eine ebene Fläche gelegt, die auf der Oberfläche des dichteren Mediums rechtwinkelig steht, und der Schnitt, der beiden Flächen gemeinsam ist, ich meine, der konstruierten ebenen Fläche und der Oberfläche des dichteren Mediums, sei die Linie BC und die sei gerade. Und wir ziehen vom Punkte A den Strahl AE, der falle schief auf BC und sei gebrochen nach der Linie EG, und errichten im Punkte E ein Lot auf der Fläche des dichteren Mediums, das sei EH und verlängere AE geradlinig bis W. Dann ist der Winkel GEW konstruiert, der offenbar der Ablenkungswinkel

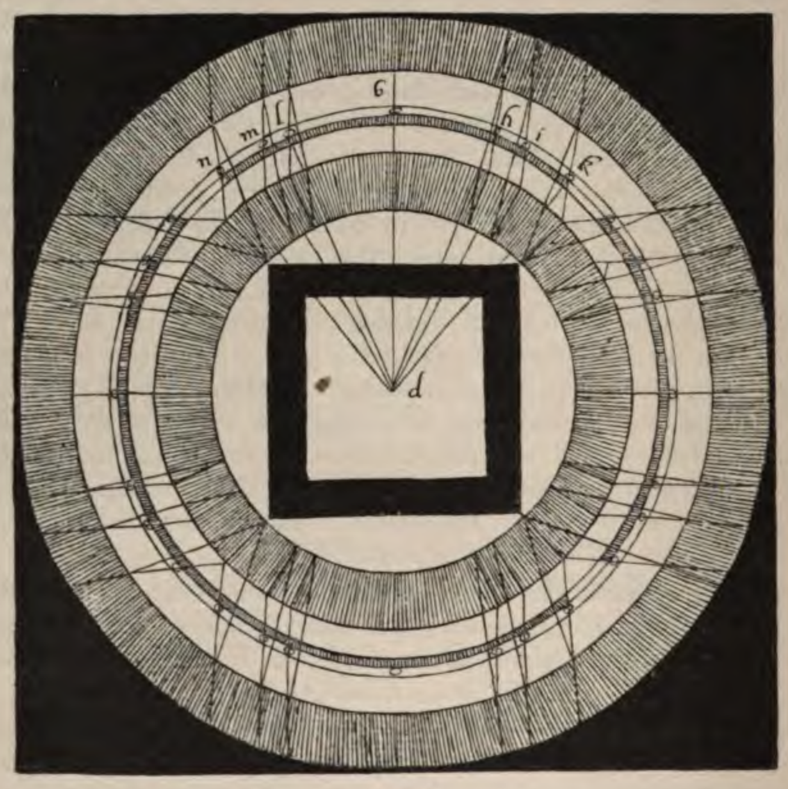


Fig. 66.

ist. Wenn nun aber ein Strahl nach der Linie GE gezogen wird, so wird er nach der Linie EA gebrochen. Fällt man das Lot HE, so wird, wenn das dünnere Medium, in dem A liegt, ein noch dünneres Medium ist, der Strahl GE nach einer Linie gebrochen, die weiter vom Lote ET absteht. Dann möge die Brechung in dem Medium, das stärker durchsichtig ist, nach der Linie EK geschehen. Der Strahl aber, der sich im dichteren Medium ausbreitet und nach der Linie EA gebrochen wird, die dem Lote TH näher ist, dieser Strahl sei der Strahl DE, der nach der Linie EA gebrochen wird. Wenn sich nun ein Strahl nach der Linie AE ausbreitet

und das dünnere Medium ist das [angenommene] zweite Medium, das stärker durchsichtig ist, so wird er nach der Linie *ED* gebrochen. Wenn aber das dünnere Medium, in dem der Punkt *A* liegt, noch durchsichtiger ist als das dünnere zweite Medium, so wird der Strahl, der sich in dem dichteren Medium ausbreitete und nach der Linie *EA* gebrochen wurde, wenn das durchsichtige dünnere Medium das dritte Medium ist, aus der Richtung einer Linie gebrochen, die seinem Lote noch näher liegt, als die Linie *ED*. Ebenso oft das dünnere Medium an Dünnheit und Durchsichtigkeit zunimmt, wird er nach einer Linie gebrochen, die seinem Lote *EH* näher liegt; und so oft der gebrochene Strahl der Linie *EH* näher kommt, wird der Winkel *HED* kleiner, und es steht der Winkel, der zwischen dem gebrochenen Strahl und dem Lote entsteht, im Verhältnis zur Durchsichtigkeit in dem dünneren Medium. Daraus folgt notwendig, dass das Wie der Durchsichtigkeit nur im Verhältnis zum Winkel im Brechungspunkte steht.«

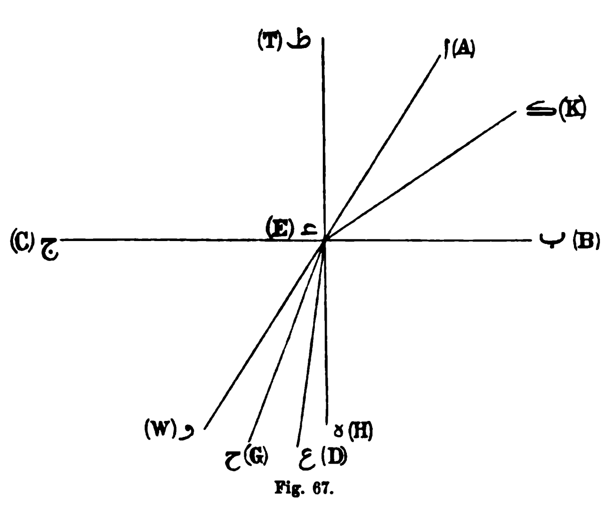


Fig. 67.

Was das sagen will, ergiebt sich aus den Anschauungen, die sich Al Hazen von der Durchsichtigkeit macht. Er teilt die durchsichtigen Körper in die ätherischen und die unterhalb des Äthers. »Die ätherischen[1]) bestehen aus einer einzigen Art, da sie nur eine einzige Beschaffenheit besitzen. Die unter dem Äther befindlichen bestehen aus drei Klassen, erstens aus der Luft, zweitens dem Wasser und den durchsichtigen Flüssigkeiten, zu denen das Eiweiß und die durchsichtigen Flüssigkeiten des Auges gehören und drittens den durchsichtigen Steinen, wie dem Glas und Bergkrystall.« Außer dem Äther haben die genannten Körper verschiedene Durchsichtigkeiten; bei der Luft hängt es davon ab, ob Staub oder Rauch oder Nebel ihr beigemischt ist und ähnlich die Flüssigkeiten. Dabei hat Al Hazen auch beobachtet, dass solche Körper von der Sonne getroffen »zweites«, wir würden sagen diffuses Licht, zurückstrahlen.

Dass bei der Brechung Licht und Farbe an Intensität verlieren, ein Körper dadurch undeutlicher, wenn auch nicht größer erscheine, wenn das

1) E. Wiedemann, Über die »Darlegung der Abhandlung über das Licht« von Ibn Al Haitam. Wied. Ann. 1883. Bd. 20. S. 337.

ihn sichtbar machende Licht aus einem dünneren Mittel in ein dichteres übergeht, dass ein im Wasser befindlicher Körper gehoben, ein hinein getauchter Stab demnach gebrochen erscheine, war der Aufmerksamkeit des arabischen Gelehrten gleichfalls nicht entgangen, aber auch die Reflexion und Brechung an krummen Flächen hat er untersucht.

Mit der Reflexion an sphärischen und parabolischen Flächen beschäftigen sich zwei Abhandlungen, die sich im Manuskripte in der Bibliothek des Indian Office befindet. Die in derselben von Al Hazen gewonnenen Resultate fasst E. Wiedemann[1]) folgendermaßen kurz zusammen: »Al Hazen kennt die Lage des Brennpunktes des Hohlspiegels und ist mit der longitudinalen Abweichung vollkommen vertraut, so vertraut, dass er sie benutzt, um Hohlspiegel zu konstruieren, die hinter der Kugeloberfläche eine Entzündung hervorrufen, indem er passende ringförmige Stücke aus der Kugeloberfläche schneidet. Bei den parabolischen Hohlspiegeln weiß er, dass dieselben alle Strahlen in einem Punkte vereinen. Er kennt die Eigenschaften der parabolischen Hohlspiegel.« Er wollte die Hohlspiegel jedoch nur als Brennspiegel benutzen und solche aus Stahlblechringen von immer wachsenden Radien nehmen, für die er eine Konstruktion angiebt, so dass sie sämtlich den nämlichen Brennraum haben. Wenn nun auch, wie wir sahen, die Griechen bereits über mancherlei Kenntnisse von den Brennspiegeln verfügten, so fasste Al Hazen die Sache allgemeiner, und aus seinen Abhandlungen schöpfte, wie wir sehen werden, das Abendland dann wieder seine Kenntnisse.

Ebenso dürfte es sich mit der Brechung und Reflexion in einer Glas- oder Wasserkugel verhalten, die auch bereits Al Hazen behandelt hat. Er gelangt zu dem Satze[2]): »Bei jeder glatten und durchsichtigen Kugel von Glas oder einer ähnlichen Substanz wird die Wärme der Sonnenstrahlen in einer Entfernung von der Kugel vereinigt, die kleiner als ein Viertel des Durchmessers ist.« Eingehender beschäftigt sich ein Kommentator Al Hazens, wahrscheinlich Kamâl ed Dîn Abû al Hasan Al Fârisî mit der Brechung der Lichtstrahlen in einer Kugel. Er wurde seiner Mitteilung nach durch einen persischen Gelehrten, nämlich Kotb ed Dîn Abû al Tanâ Mahmûd ibn Masûd al Schîrasî auf den richtigen Weg gebracht und es gelang ihm ebensowohl die Erscheinung des Regenbogens, der Aristoteles noch ratlos gegenüberstand, zu erklären, als auch einige merkwürdige Sätze über die Brechung des Lichtes in Kugeln aufzufinden[3]). Obwohl Al Schîrasî erst im 13. Jahrhundert lebte (1236—1311), so erwähnen wir diese Arbeiten des Zusammenhanges wegen gleich hier.

Dass es Al Hazen auch gelungen ist, die Vergrößerung der Gestirne in der Nähe des Horizontes richtig zu erklären, während seine Berechnung der

---

1) E. Wiedemann, Zur Geschichte der Brennspiegel. Wied. Ann. 1890. Bd. 39. S. 123.

2) E. Wiedemann, Über die Brennkugel. Wied. Ann. 1879. Bd. 7. S. 680.

3) E. Wiedemann, Über das Sehen durch eine Kugel bei den Arabern. Wied. Ann. 1890. Bd. 39. S. 565.

Höhe der Atmosphäre, da er dazu nur die Reflexion, aber nicht die Brechung des die Dämmerung verursachenden Lichtes berücksichtigte misslang, sei hier im Vorbeigehen erwähnt.

Die Arbeiten zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes verdanken wir Al Khâzinî, der sie in seinem 1137 verfassten, die »Wage der Weisheit« betiteltem Buche[1]) niedergelegt hat. Er definiert das spezifische Gewicht als das Verhältnis zwischen dem absoluten Gewichte und dem Gewichte des verdrängten Wasservolumens und bestimmt es zunächst mit Hilfe der Wage, die er zu diesem Zwecke besonders ausgebildet hatte. Er benutzte drei verschiedene Konstruktionen. Die erste, welche Figg. 68 und 69 darstellen, war eine gewöhnliche zweiarmige Hebelwage, die gemeine einfache Wage, wie er sie nennt. Bei dieser konnte entweder eine Wagschale auf dem einen mit Teilung versehenen Arm verschoben werden, oder die Wagschalen *a* und *b* waren unverrückbar, dagegen war es möglich, an dem einen mit Teilung versehenen Arme ein Gewicht *c* hin und her zu bewegen, Einrichtungen, die wohl zum Zweck hatten, ein genaues Einspielen der unbelasteten Wage erreichen zu lassen. Die zweite Wage

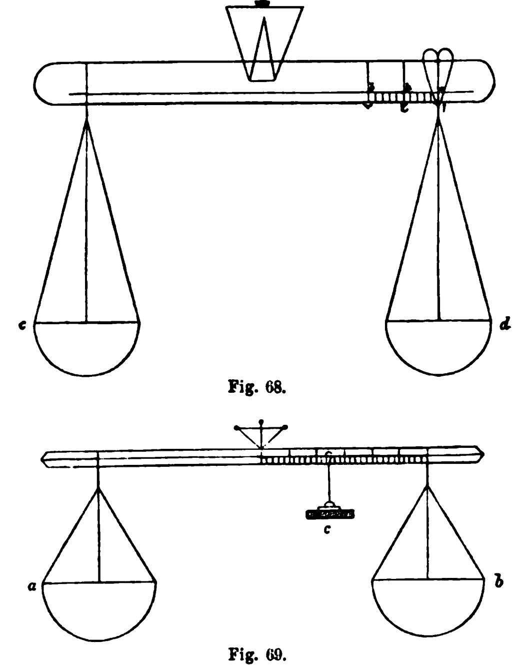
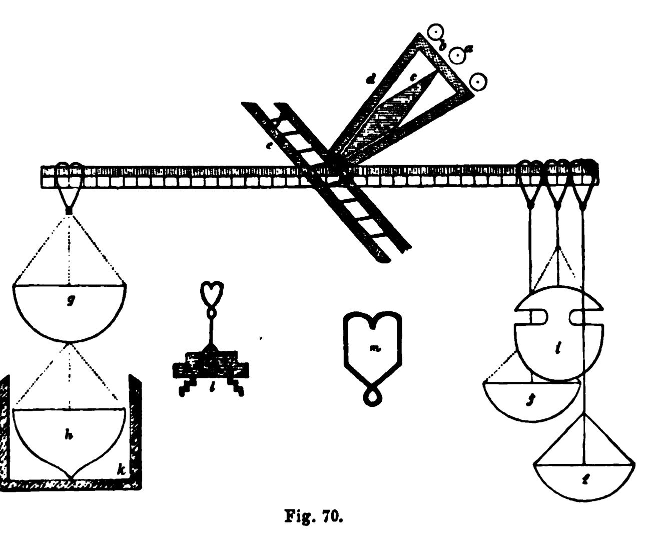


Fig. 68.

Fig. 69.


Fig. 70.

1) N. Khanikoff, Analysis and Extracts of »Book of the balance of wisdom« etc. Journ. of the Americ. orient. Society 1860. 6. Vol. S. 1—128. Vgl. auch E. Wiedemann, Arabische specifische Gewichtsbestimmungen. Wied. Ann. 1883. Bd. 20. S. 539.

nannte Al Khâzinî die Wage mit der beweglichen Schale. Sie besaß deren drei; zwei kugelförmige, eine die Wasserschale, unter einer der anderen, wie es aus Fig. 70 ersichtlich ist, und kegelförmig, um beim Eintauchen den Widerstand der Flüssigkeit leichter überwinden zu können. Die dritte dieser Wagen ist die Wage der Weisheit, deren Namen die ganze Arbeit Al Khâzinîs trägt. Sie besitzt, wie Fig. 70 zeigt, fünf Wagschalen, die zum Teil hydrostatisch und fest, zum Teil beweglich sind. Der Empfindlichkeit wegen ist der aus Eisen oder Bronze verfertigte Wagebalken vier Bazar-Ellen (2 m) lang und mit einer Teilung versehen. Die oberhalb des Wagebalkens angebrachte Zunge hatte die Gestalt einer zweischneidigen Klinge; sie wurde am Wagebalken mittels zweier Schrauben befestigt, nachdem der Schwerpunkt des Balkens durch Versuche bestimmt worden war. Die Empfindlichkeit des Wagebalkens war, nach ihres Verfertigers Angabe, $\frac{1}{1000}$ und so groß, dass man reine Metalle mit ihrer Hilfe von Legierungen unterscheiden, die Bestandteile einer aus zwei Metallen bestehenden Legierung, ohne sie trennen zu müssen, bestimmen konnte. Die Schalen hatten die Form derer der Wage mit der beweglichen Schale.

Die Art, wie er das spezifische Gewicht bestimmte, beschreibt Al Khâzinî folgendermaßen: »Nachdem wir die beiden äußersten Schalen und die Wasserschale in das Gleichgewicht gebracht haben, setzen wir die beiden beweglichen Schalen an die beiden Punkte des Wagebalkens, welche die spezifischen Gewichte von den beiden zu wägenden Metallen anzeigen, oder eine von ihnen an den Punkt, der das spezifische Gewicht des Edelsteins und die andere an den Punkt, der das spezifische Gewicht der Nachbildung eines Krystalles oder des Glases angiebt. Dann wägen wir die Körper mit der größten Genauigkeit in der Luft, hierauf im Wasser, nehmen die Gewichte aus der Wagschale rechts und bringen so die Wage ins Gleichgewicht.«

Wie es scheint, dienten also die beweglichen Schalen nur zur raschen qualitativen Untersuchung, wie sie im Handel erforderlich sein mochte, die genaue zahlenmäßige Bestimmung des spezifischen Gewichtes ergaben die drei anderen Wagschalen.

Das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten untersuchte Al Khâzinî mittels eines Aräometers, das mit dem Alexandrinischen übereinkam. Es bestand aus einem Messingrohr von ½ Ellen Länge und von 2 Fingern im Durchmesser. Damit es im Wasser bis zur Mitte, zum »Äquator«, einsank, war es unten mit einen Stück Zinn von passendem Gewichte beschwert. Eine zu beiden Seiten des Äquators aufgetragene Teilung ermöglichte die Bestimmung des spezifischen Gewichtes sowohl der im Vergleich zu Wasser schwereren als auch leichteren Flüssigkeiten. Außer der Wage und dem Aräometer wandte er dann auch [illegible] (Fig. 71), der wohl als erstes Pyknometer zu bezeichner [illegible] mische Instrument« war schon 100 Jahre vor [illegible] Al Birûnî zu gleichem Zwecke benutzt [illegible] ohne weiteres

verständlich sein. Es wurde soweit mit Wasser gefüllt, dass dieses aus *c* ausfloss. Warf man dann eine gewogene Menge des zu untersuchenden Körpers durch *e* hinein, so floss wieder Wasser aus *c* aus, wurde aber in der flachen Schale *f* aufgefangen und gewogen. Damit nicht Wasser in der Röhre *c* hängen bleibe und erst allmählich ausfließe, wurde sie mit Löchern versehen und ihr eine kreisförmige Krümmung als die vorteilhafteste erteilt. Der Hals *e* war weit, mindestens so weit, dass man den kleinen Finger bequem hindurch stecken konnte. Bereits Al Birûnî nahm bei Benutzung des konischen Instrumentes auf die durch die erhöhte Temperatur verminderte Dichte des Wassers Rücksicht und fand den Unterschied zwischen heißem und kaltem Wasser zu 0,041677, ein Wert, dessen Übereinstimmung mit dem aus den neueren Versuchen erhaltenen durchaus befriedigend ist, wenn man die geringe Schärfe der Temperaturbeurteilung im Auge behält. Dasselbe gilt von Al Birûnîs und mehr noch von Al Khâzinîs Bestimmungen des spezifischen Gewichtes; die von letzterem erhaltenen Zahlen enthält folgende Tabelle mit den zur Vergleichung beigesetzten gegenwärtig giltigen.

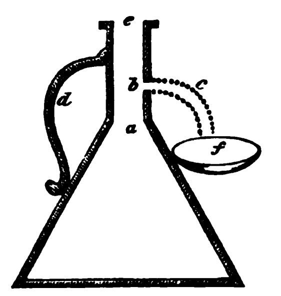


Fig. 71.

Namen der Substanzen	Spezifisches Gewicht		Namen der Substanzen	Spezifisches Gewicht	
	Nach Al Khâzinî	Neuere Bestimmung		Nach Al Khâzinî	Neuere Bestimmung
Gold	19,05	19,26	Lapis Lazuli	2,69	2,3
Quecksilber	13,56	13,59	Echte Perlen	2,60	2,75
Kupfer	8,66	8,85	Gelbes Wachs	0,95	—
Messing	8,57	8,40	Süßes Wasser	1,00	1,00
Eisen	7,74	7,79	Heißes Wasser	0,958	0,9597
Zinn	7,32	7,29	Eiswasser	0,965	0,9999
Blei	11,32	11,35	Seewasser	1,041	1,027
Silber	10,30	10,53	Wein	1,021	—
Bronze	8,82	—	Sesamöl	0,915	—
Blauer Hyacinth	3,96	4,4—4,7	Olivenöl	0,920	0,91
Rother Hyacinth	3,85	4,4—4,7	Kuhmilch	1,110	1,04—1,42
Rubin von Badanschan	3,58	3,09	Honig	1,406	—
			Menschenblut	1,033	1,045—1,075
Smaragd	2,75	2,725			

Einem eigentümlichen Satze begegnen wir noch in Al Khâzinîs Wage der Weisheit, den auch später Roger Bacon noch zu beweisen sucht und der mit der Vorstellung verknüpft ist, dass der Erdmittelpunkt auch der Mittelpunkt des Weltalls sei. Er sagt aus, dass Flüssigkeiten in Gefäßen einen größeren Raum erfüllen, wenn sie in der Nähe des Weltmittelpunktes sich befinden, einen kleineren, wenn sie weiter von demselben

entfernt sind[1]). Denn in dem letzteren Falle ist die Oberfläche stärker gekrümmt. Endlich hat er auch die Oberflächenspannung am Quecksilbertropfen, freilich auf seine Art, gedeutet. Er sagt in seiner Kosmographie: »Das Quecksilber besteht aus wässerigen Teilen, die mit feinen schwefeligen Teilen innig gemischt sind, so dass man nicht die einen von den anderen zu unterscheiden vermag. Um dasselbe befindet sich eine Haut von Staubteilchen; wird ein Tropfen mit einem anderen in Berührung gebracht, so öffnet sich die Haut und die beiden Tropfen werden ein einziger. Die Haut umhüllt ihn in derselben Weise, wie wenn ein Wassertropfen auf Staub fällt. Er bleibt dann eine Kugel und diese ist von erdigen Teilen umhüllt. Oft trifft ein solcher Tropfen einen anderen. Dann vereinigen sich ihre Hüllen, beide Tropfen werden ein einziger und beide umgiebt eine Schale aus Staubteilchen«.

Das christliche Abendland bis zum Auftreten der Humanisten.

Weniger Jahrhunderte nur hatte es bedurft, um die kriegerischen Araberhorden in ein fein gebildetes Kulturvolk zu verwandeln, wenige Jahrhunderte nur behaupteten sie diese Stellung. Viel längere Zeit war nötig, bis die germanischen Völker des Abendlandes einen ähnlichen Aufschwung nahmen, aber einmal die Träger der fortschreitenden Kultur geworden, haben sie bis auf den heutigen Tag nicht aufgehört, es zu sein. Die Völkerwanderung hatte germanische Stämme in ganz Europa verbreitet, viele behaupteten sich, viele gingen in der bereits sesshaften Bevölkerung auf. Überall aber erhob sich neues, eigenartiges Leben auf den Trümmern des Römerreiches und der antiken Kultur. Anfangs in unvermitteltem Anschluss an die Griechen, später teilweise deren Werke durch die Araber erhaltend arbeiteten sich die Völker des Abendlandes, von denen keines ohne Beimischung germanischen Blutes geblieben war, zu immer größerer Selbständigkeit empor, bis sie das Zeitalter der Renaissance, und zwar gerade durch das Bekanntwerden griechischer Schriften oder der Urtexte solcher, die zwar bekannt, aber durch endloses Kommentieren völlig entstellt waren, zu völliger Freiheit führte.

Hand in Hand mit dieser Entwickelung geht die Betonung des Experimentes als notwendige Grundlage unserer Naturerkenntnis, und die moderne Forschung beginnt in dem Augenblicke, als Galilei zeigte, dass es nur die eine Seite unserer Studien bilden könne, dass es wirklich fruchtbar nur in Vereinigung mit der induktiven Methode werde. Es wäre aller geschichtlichen Entwickelung entgegen, [illegible] dies ohne [illegible]che Vermittelung geschehen wäre. Dem große[illegible]
gängern, die mehr oder weniger [illegible]

1) E. Wiedemann, Inhalt ein[illegible]
mittelpunkte nach Al Khâzinî und [illegible]

arbeiteten, und so hat diese Periode, wenn sie auch experimentell wenig fruchtbar gewesen ist, auch für uns ein eigentümliches Interesse.

Erst nachdem sich Reiche aus den Wirren der Völkerwanderung entwickelt hatten, in welchen die Hand eines kräftigen Herrschers für Ruhe und Sicherheit sorgte, konnte wieder an die Pflege der Wissenschaften gedacht werden. Es war das Ostgotenreich Theodorichs des Großen (493—521), welches zuerst diese Bedingungen bot, um so mehr bot, als sein König selbst für Wissenschaft begeistert war. Unter seinem Schutze entstanden die Übersetzungen griechischer Werke von Boëthius (475 oder 481—524) und das Sammelwerk Cassiodors (475—570). Cassiodor hat der Wissenschaft auch dadurch einen ungeheuern Dienst geleistet, dass er die Insassen der damals neu gebildeten Klöster auf die Pflege der Wissenschaften hinwies, die sie seitdem, allerdings auf ihre Art sie ausübend, nie aus den Augen verloren haben. Von Boëthius haben wir dagegen zu berichten, dass er viele Versuche mit dem Monochord und mit Pfeifen anstellte, die allerdings Neues nicht ergaben. Von Interesse ist indessen die folgende Stelle über die Fortpflanzung und Reflexion der Wasser- und Schallwellen[1]: »In Bezug auf die Stimmen findet dasselbe statt, wie wenn ein aus der Ferne geworfener Stein in ruhigen Gewässern untersinkt. Zuerst sammelt er die Welle zu einem ruhigen Kreise, dann aber zerstreut er die Wellenmassen in größere Kreise und zwar so lange, bis die unruhige Bewegung von der Hervorlockung der Wogen ablässt und sich nach und nach beruhigt, indem sich die Wellen in immer weiteren und größeren Umkreisen verlaufen. Wenn nun etwas vorhanden ist, was den wachsenden Wellen Widerstand leistet, so wird sofort jene Bewegung zurück gewendet und wird gleichsam nach dem Mittelpunkte hin, wo sie ausgegangen ist, durch dieselben Wellen abgerundet. Wenn also auf dieselbe Weise ein Luftstoß einen Ton erzeugt hat, so treibt dieser zunächst einen anderen Luftstoß an und setzt so gewissermaßen eine kugelförmige Luftmasse in Bewegung. Auf diese Art wird der Ton verteilt und berührt zugleich das Gehör aller Umstehenden. Dem, der in weiterer Entfernung steht, erscheint die Stimme schwächer, weil zu ihm eine kleinere Welle der geschlagenen Luft gelangt«. Man sieht, die Klarheit der Anschauungen hat zugenommen.

Mit dem Zusammenbruche der Herrschaft Theodorichs verlor die Wissenschaft die kaum erworbene Freistatt. Erst das Reich des großen Karl war im stande, ihr eine neue zu bieten. Aber die Bestrebungen des Kreises von Leuchten der Wissenschaft, die der Kaiser um sich versammelt hatte und dem der Engländer Alkuin vorstand, kamen nur mittelbar den schaften zu gute, insofern Klosterschulen ins Leben gerufen enen tüchtige Gelehrte wirkten und welche tüchtige Gelehrte

s, Fünf Bücher über Musik. Deutsch von O. Paul. Leipzig 1880. S.

bildeten. Mit dem Beginne des 13. Jahrhunderts traten hierzu in Frankreich, England und Italien die Universitäten, in Deutschland folgte man mit der Errichtung solcher im 14. Jahrhundert nach. Ihre Lehrstühle waren jedoch mit Geistlichen besetzt und an freie Forschung war meist nicht zu denken. Die Naturwissenschaften waren und blieben in den Banden der Scholastik, für welche Aristoteles' Lehre das Alpha und das Omega war. Nicht aus den griechischen Schriftstellern selbst schöpfte man freilich deren Kenntnis, es waren die Übersetzungen und Werke der Araber, die sie vermittelten, und so waren es denn auch die Gebiete der Wissenschaft, mit denen sich die Araber vorwiegend beschäftigt hatten, welche weitere Bearbeitung erfuhren, die Chemie durch Albrecht von Bollstädt, den Großen (1193 oder 1205—1280), und die Optik durch Roger Bacon (1214—1294), den Polen Witelo (um 1270) u. a.

Wenig Neues war es, was Albertus Magnus den Kenntnissen Gebers zufügte, einzelne neue Verfahrungsweisen, bei denen die Destillation ausgebreitete Verwendung fand, aber er fasste in seinen Schriften den Wissensschatz seiner Zeit zusammen, und so haben sie in hohem Grade anregend auf die Zeitgenossen gewirkt. Diese Einwirkung wurde dadurch nicht wenig verstärkt, dass Alberts Leistungen unbegreiflich genug waren, um für Zauberei genommen zu werden.

Mit der Kirche hat ihn dies allerdings nicht in Konflikt gebracht, ein Schicksal, welches seinem nur wenig jüngeren Zeitgenossen Roger Bacon nicht erspart blieb. Indem er forderte, dass die höchste Beweiskraft dem Experiment inne wohnte, hätte er vielleicht auf Zustimmung rechnen können, aber dass er von seinen Mitgeistlichen mehr Gelehrsamkeit verlangte, das machte ihn unbequem und ließ ihn mehrmals das Innere der Kerkermauern sehen. In seinen optischen Untersuchungen ist weder er noch Witelo über die Errungenschaften der Araber hinausgekommen. Man hat früher freilich geglaubt, dass er zuerst die Eigenschaften der Brennspiegel erkannt habe; als man aber mit den Schriften der Araber vertrauter wurde, fand man diese Kenntnisse bereits bei ihnen vor, und so musste man ihnen auch den Ruhm, die Erscheinung des Regenbogens zuerst erklärt zu haben, lassen, den man lange als einer 1311 erschienenen Schrift des Predigermönches Theoderich von Freiberg gehörig angesehen hatte.

Erwähnenswert dürften nur noch aus den optischen Arbeiten jener Zeit die Ergebnisse der Untersuchungen Witelos über die Brechung des Lichtes beim Übergange aus Luft in Wasser und Glas und aus Wasser in Glas sein, Untersuchungen, die er freilich ganz nach dem Muster des Ptolemaios anstellte. Ihre Ergebnisse erreichen kaum eine größere Genauigkeit, als sie der Alexandriner auch schon erhalten hatte. Wir geben ihre Resultate nach Delambre[1]), der auch die beigefügten Brechungskoëffizienten berechnet hat, und stellen sie den von Ptolemaios gefundenen, von denen wir einige bereits früher anführten, gegenüber.

1) Gilberts Annalen 1812. Bd. 40. S. 285 ff.

Einfalls-winkel	Brechungswinkel					
	aus Luft in Wasser		aus Luft in Glas		aus Wasser in Glas	
	Ptolemaios	Witelo	Ptolemaios	Witelo	Ptolemaios	Witelo
10°	8° 0′	7° 45′	7° 0′	7° 0′	9° 30′	9° 30′
20	15 30	15 30	13 30	13 30	18 30	18 30
30	22 30	22 30	20 30	19 30	27 0	27 0
40	28 0	29 0	25 0	25 0	35 0	35 0
50	35 0	35 0	30 0	30 0	42 30	42 30
60	40 30	40 30	34 30	34 30	49 30	49 30
70	45 0	45 30	38 30	38 30	56 0	56 0
80	50 0	50 0	42 0	42 0	62 0	62 0

Aus diesen Zahlen ergeben sich die Brechungsverhältnisse nach Ptolemaios aus Luft in Wasser zu 1,310, aus Luft in Glas zu 1,484 und aus Wasser in Glas zu 1,109, welche Werte unter Zugrundelegung von Witelos Beobachtungen zu 1,341, 1,443 und 1,109 werden.

Obwohl nun weder Roger Bacon noch Witelo die Optik ihrer Zeit wesentlich gefördert haben, so ist aus ihr doch ein Fortschritt zu verzeichnen, der, wie er einerseits von der allergrößten Wichtigkeit für die ganze Menschheit werden sollte, andererseits uns den Beweis liefert, dass neben der theoretischen die angewandte Optik nicht zurückgeblieben war, wenn uns unmittelbare Nachrichten darüber auch gänzlich fehlen. Es ist die Erfindung der Brillen, die einer Grabschrift nach, welche Leopoldo del Migliore 1684 in der Kirche Maria maggiore zu Florenz gesehen hat, von dem Florentiner Salvino degli Armati gemacht zu sein scheint. »Hier ruht«, lautete sie[1]), »Salvino degli Armati aus Florenz, der Erfinder der Augengläser. Gott verzeihe ihm seine Sünden. 1317«. Nach der Mitteilung von Giordano da Rivalta wäre das Jahr, in der diese Erfindung gemacht wurde, wahrscheinlich 1285, und in der That sollen sie in einem Manuskript vom Jahre 1299 als kurz zuvor erfunden erwähnt sein[2]). Der Plural occhiali schließt die Annahme aus, dass man es hier mit einem einzigen Leseglase zu thun haben könnte; doch versteht man nicht, wie von einem solchen Roger Bacon behaupten konnte, dass man, wenn man es umkehre, die Gegenstände verkleinert sehe[3]). Die Bequemlichkeit unserer Brillen boten die jener Zeit freilich noch nicht. Fasste man sie doch in Lederlappen, welche, an die Mütze angeheftet, vor den Augen herabhingen, eine ungeschickte Art der Befestigung, die gleichwohl vor den jetzigen zierlichen Gestellen den Vorteil boten, alles seitliche Licht fern zu halten und namentlich störende Reflexe auszuschließen.

---

1) Leop. del Migliore in Firenze illustrata: Qui giace Salvino degli Armati di Firenze, inventore degli occhiali. Dio gli perdoni la peccata. 1317. S. Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879. S. 94.

2) Vgl. Poggendorff, a. a. O. S. 95.

3) Roger Bacon im Opus maius. Vgl. Heller, Gesch. der Physik. Stuttgart 1882. Bd. I. S. 201.

Übrigens hat sich Bacon auch wie der Bollstädter eingehend mit Chemie beschäftigt und die Ergebnisse seiner Studien in seiner Ars chymica zusammengestellt. Ist ihm nun auch auf diese Arbeiten hin die Erfindung des Schießpulvers mit Unrecht zugeschrieben worden, so macht er uns dort mit einer Methode, das Quecksilber zu reinigen, bekannt, welche die bis zu seiner Zeit übliche Destillation durch Anwendung einer die verunreinigenden Metalle lösenden Säure ersetzt. Er beschreibt sein Verfahren folgendermaßen[1]: »Das Quecksilber aber wird so gereinigt. Nimm davon, soviel du willst und bringe es in einen Steinmörser. Überdecke es nur mit gewöhnlichem Kochsalze und rühre es mit dem Stempel wohl um; füge auch etwas Essig zu und rühre so lange, bis Salz und Essig geschwärzt werden. Dann wasche es mit neuem Essig so lange ab, bis der Essig rein abläuft. Darauf nimm das so gewaschene Quecksilber und drücke es mit einem doppelten Tuche in einem Glasgefäße aus und es wird sauber und ganz rein sein«. Von Roger wohl hat Raymundus Lullus (1235—1315) dieses Verfahren übernommen, nur dass er das Tuch durch ein Stück Leder ersetzte[2].

So sehen wir die ersten Träger der Naturwissenschaften im Abendlande voller Abhängigkeit von ihren arabischen und griechischen Vorgängern, und man hat daraus auf die völlige Unselbständigkeit ihrer Zeit geschlossen. Das war indessen nur möglich, so lange man die Arbeiten auf dem Gebiete der reinen und angewandten Mechanik außer acht ließ. Geht man aber den Spuren der Forscher, die sich mit ihr befassten, nach, so entdeckt man mit Erstaunen, dass das rasche Emporblühen dieses Grenzgebietes zwischen Mathematik und Physik im 16. und 17. Jahrhundert durchaus kein zufälliges war, dass sie ihre Höhe in so kurzer Zeit nicht zum mindesten dadurch erreichen konnte, dass für sie die meisten selbständigen Arbeiten vorlagen. Es war der 1236 gestorbene, aus Borgentreich bei Warburg im Paderbornschen stammende Jordanus Nemorarius, der zuerst über die Gewohnheit der Alten, alle mechanischen Probleme auf statische Sätze zurückzuführen, hinausging und sie auf dynamischem Wege zu lösen versuchte[3]. Seine Schriften fielen freilich bald wieder der Vergessenheit anheim; da er sie aber nach Cavernis Vermutung für seine Schüler geschrieben hatte, so wäre es immerhin nicht unmöglich, dass sie Gegenstand einer lebendigen Überlieferung geblieben sind.

Es sind hauptsächlich die schiefe Ebene und der Hebel, die Nemorarius behandelt hat. Er zeigt zunächst, dass ein von dem Punkte A, Fig. 72, aus über die schiefen Ebenen AB, AC, AD gleitender Körper dieselbe »Stärke des natürlichen Fallens hat«, wie beim Durchfallen der

1) Roger Bacon, De Arte chymica. Frankofurti 1620

2) Kopp, Geschichte der Chemie. Bra[illegible]w. 1847.

3) Liber Jordani Nemorarii de [illegible]
gegeben von Peter Apian 1533. S. au[illegible]
in Italia. 4 Bände. 1891/95. Tom. IV. [illegible]

Höhe AE. Jedesmal müssen die Produkte aus Gewicht in Geschwindigkeit, also nach unserer Ausdrucksweise die Bewegungsmomente, die nämlichen sein. Mit Hilfe dieses Satzes untersucht er dann die Bedingungen, unter welchen die Gewichte P und Q, Fig. 73, auf den beiden miteinander verbundenen schiefen Ebenen MO und MR, welche die nämliche Höhe MN besitzen, beim Herabfallen gleiche Momente haben. Um sie darzustellen, schneidet er auf beiden Ebenen die gleichen Stücke $AS = CF$ ab und zieht AB und CD senkrecht und SB und DF parallel zu OR. Sollen nun die Momente $P\cdot\overline{AB}$ und $Q\cdot\overline{CD}$ gleich sein, so muss sich verhalten:

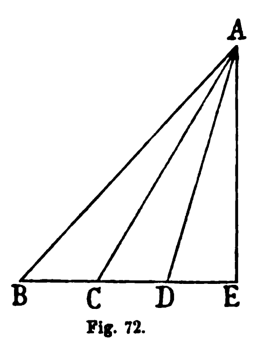


Fig. 72.

$$P : Q = CD : AB.$$

Da sich aber auch verhält

$$CD : CF = MN : MR$$

und

$$AB : AS = MN : MO,$$

so ergiebt sich:

$$CD : AB = MO : MR$$

oder:

$$P : Q = MO : MR.$$

Zur Untersuchung der Verhältnisse am Hebel geht Nemorarius von dem Satze aus, der wohl die erste Andeutung des Prinzips von den virtuellen Geschwindigkeiten enthält: »Bei[1]) zwei beliebigen schweren Körpern ist die Geschwindigkeit im eigenen Herabsinken den in derselben Reihenfolge genommenen Gewichten proportional, das Verhältnis des Herabsinkens und der entgegengesetzt gerichteten Bewegung ist das nämliche, aber umgekehrte«. Hat nun ein Hebel einen Stützpunkt in A, Fig. 74, sucht die in D angreifende ch M zu kommen, so wird wirkende nach F zu en. Sind in D und E nun die Gewichte P und Q ange-

Fig. 73.

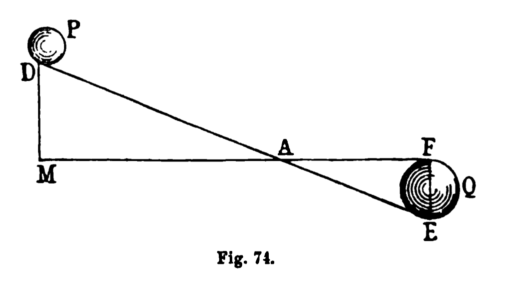


Fig. 74.

1) ıorarius, De ponderibus, a. a. O. S. 6.

bracht, so sind ihre Momente $= P \cdot \overline{DM}$ und $Q \cdot \overline{EF}$, und es muss sich für den Fall des Gleichgewichtes verhalten

$$P : Q = \overline{EF} : \overline{DM}.$$

Nun ist aber auch

$$EF : DM = \overline{AE} : \overline{AD},$$

also

$$P : Q = AE : AD$$

die bekannte Gleichgewichtsbedingung am Hebel.

Da Nemorarius bei der von ihm behandelten Frage, wie es möglich sei, zu erkunden, wieviel von dem einen oder anderen Stoffe in einer aus beiden bestehenden Mischung sich befinde, nach Archimedes' Vorgang zu verfahren gedenkt[1]), ohne das spezifische Gewicht zu erwähnen, da auch die Untersuchung des Druckes, den in einer Flüssigkeit die oberen Schichten auf die unteren ausüben, ihn dazu nicht veranlasst, so dürfte die Behauptung Bardis[2]), Galilei habe diese Bezeichnung jener Schrift entnommen, auf einem Irrtume beruhen.

Wie die Schriften des Nemorarius geeignet sind, die späteren, bisher unvermittelt dastehenden raschen Fortschritte der Wissenschaft begreiflich zu machen, so gilt dasselbe für eine Anzahl Erzeugnisse der mechanischen Kunst, die uns aus ihrer Entstehungszeit noch erhalten worden sind. Auf die Höhe, bis zu welcher diese sich damals bereits aufgeschwungen hatte, lassen eine Anzahl alter, auch arabischer Astrolabien schließen, die wir noch besitzen, unsere Bewunderung aber verdienen namentlich die Turmuhren, von deren hoher Vollkommenheit einige noch vorhandene Zeugnis ablegen. Eine Räderuhr mit Gewichten erhielt bereits im Jahre 1232 Kaiser Friedrich II. vom Sultan von Ägypten zum Geschenk. Außer den Stunden des Tages und der Nacht soll sie den Lauf der Sonne, des Mondes und der Planeten angezeigt haben. Nach Froissart[3]) hat bereits 1332 Philipp der Kühne von Burgund eine Räderuhr besessen, welche die Stunden schlug, in Italien aber waren in der Mitte des 14. Jahrhunderts Jacob und Johann Dondi zu Padua als Verfertiger solcher Uhren berühmt[4]), und von ihnen mag diejenige verfertigt worden sein, welche 1344 in ihrer Vaterstadt aufgestellt wurde[5]).

---

1) Nemorarius Ms. 7378 A. fol 3900 à la suite du traité de Jordanus de ponderibus.

2) Bardius Florentinus, Experimenta ad Archimedis trutinam examinata Romae 1614. Wieder abgedruckt in Targioni Tozzetti: Notizie degli aggrandimenti delle scienze fisiche accaduti in Toscana nel corso di anni LV del secolo XVII. Firenze 1780. II. 1. S. 4; vgl. Thurot XIX. S. 117, welcher dies dahin zu erklären sucht, dass Bardi oder Galilei eine von Tartaglia besorgte Ausgabe der Schrift des Nemorarius benutzt habe, mit der eine als »Pseudo-Archimedes« bezeichnete Schrift vereinigt war.

3) Barrington bei Beckmann, Beiträge zur Geschichte der Erfindungen. Bd. I. Göttingen 1774. S. 302.

4) Poggendorff, Ge[illegible] der Physik. Leipzig 1879. S. 597.

5) Hamberger b[illegible] a. O. I. S. 151.

Wohl die älteste der noch erhaltenen solcher Uhren zeigt Fig. 75. Sie ist Schweizer Fabrikat und hat von 1348 bis 1872 in Dover Castle die Stunden geschlagen. Jetzt befindet sich das Werk im South Kensington Museum in London und ist noch so gut im stande, dass es durch Aufziehen des treibenden Gewichtes leicht in Gang gesetzt werden kann. »Das an dem Seile *a* hängende Gewicht«, so hat der eine von uns [1]) ihre Wirkungsweise beschrieben, »setzt das mit der Seiltrommel fest verbundene Zahnrad *b* in Bewegung, dieses vermittelst des Getriebes *f* das Kronrad *c*, welches, wie ein Sperrrad, mit dreieckigen Zähnen versehen ist. Vor demselben ist die

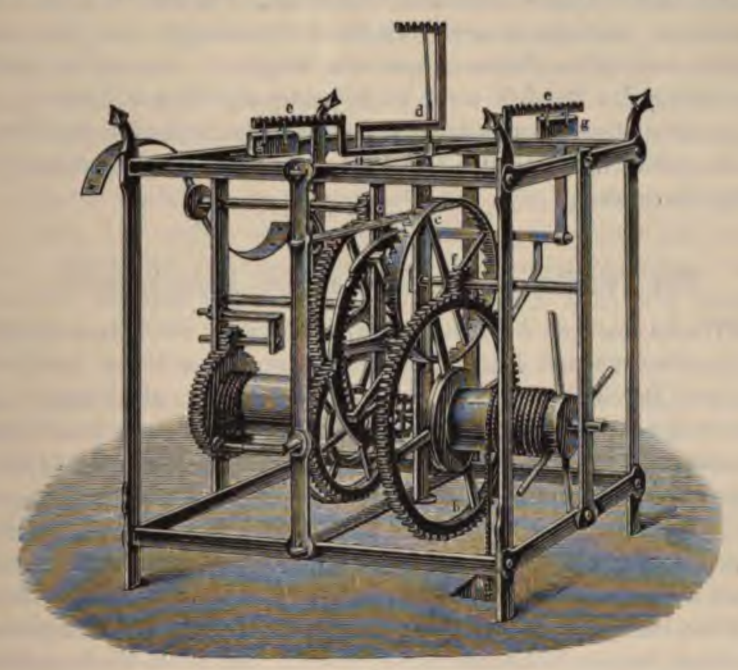


Fig. 75.

Achse *d* des Horizontalpendels *e* aufgestellt, welches durch Entfernen oder Nähern der Gewichte *g* langsamer oder rascher schwingen kann. An den beiden Punkten, wo die Achse den Zähnen des Kronrades gegenüber steht, trägt sie je eine kleine Platte. Diese Platten sind in zu einander rechtwinklige Ebenen gestellt; drängen nun z. B. die Zähne oben die obere Platte fort, so kann das Rad nur um einen Zahn vorwärts rücken, da, sowie dies geschehen, die untere Platte gegen die Zähne vordringt, das Rad etwas zurückdrückt und dasselbe um den folgenden Zahn erst wieder weiter gehen kann, wenn diese Platte wieder weg gedrängt ist. Der Teil

1) **Gerland**, Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876 in **Hofmanns** Bericht. Braunschweig 1878. S. 19.

rechts von der Pendelachse, das Schlagwerk, ist bereits ähnlich eingerichtet, wie die heute auch noch gebräuchlichen«.

Ähnlich wird die Uhr gebaut gewesen sein, welche König Karl V. von Frankreich in seinem Palaste in Paris aufstellen ließ. Sie interessiert uns hier um deswillen, weil als ihr Verfertiger Heinrich von Wiek (de Vico) angegeben wird. Daraufhin hat man ihn den Erfinder dieser Uhren genannt, aber ein Blick auf die große Vollkommenheit des Werkes bei seiner in Erstaunen setzenden Einfachheit wird uns die Annahme Berthouds[1]) als eine fast notwendige erscheinen lassen, »dass eine solche Uhr nicht die Erfindung eines einzigen Menschen sein kann, sondern dass sie ein Produkt mehrerer vorhergehender geringerer Erfindungen ist, die zum Teil wenigstens sehr alten Zeiten angehören mögen«. Namentlich wird man die Benutzung des Pendels nicht hoch genug anschlagen können, und es ist im höchsten Grade zu bedauern, dass es der geschichtlichen Forschung wohl nie gelingen wird, den Erfinder der Pendeluhr im weiteren Sinne ausfindig zu machen.

Das Zeitalter der Humanisten und Konquistadoren.

Die Werke der griechischen Philosophen waren die Träger der Wissenschaft im Altertum und im Mittelalter gewesen, von ihnen war jede Anregung zur Beschäftigung mit den Wissenschaften überhaupt, mit den Naturwissenschaften insbesondere ausgegangen. Unzerstörbar hatten sie der Vernichtung durch die anstürmenden Araber getrotzt, sie hatten diese erbitterten Feinde in kurzer Zeit zu ihren Bekennern und Pflegern gemacht. An sie knüpfte sich das Erwachen der Wissenschaft im Abendlande; aber wenig selbständig waren diese ihre Nachfolger gewesen, endlos hatten sie die Texte kommentiert, wenig Neues dem Vorhandenen zugefügt. So waren die Urtexte nach und nach in den immer von Neuem unternommenen Arbeiten daran bis zur Unkenntlichkeit entstellt und auch die byzantinischen Gelehrten, welche den ununterbrochenen Zusammenhang mit denen, deren Namen sie beibehalten hatten, herstellten, waren in geistloser Nachtreterei erstarrt. Aber in einem waren sie dem Abendlande überlegen geblieben, sie besaßen noch viele der Urtexte in ihrer ursprünglichen Form. Diese brachten sie nach Italien mit, als Byzanz einem zweiten Ansturm mohammedanischer Horden, die sich indessen nicht als so bildungsfähig wie die Araber erwiesen, erlag. Die Errungenschaften der alten Kultur, die sie zu ihrer Verteidigung aufriefen, wie das noch rätselhafte griechische Feuer, konnten sie nicht schützen, und so blieb deren Vertretern nichts übrig, als sich unter Mitnahme ihrer Schätze in das Sicherheit bietende Abendland zu retten. So mächtig aber erwie[illegible] der griechische

1) Littrow in Gehlers physikal[illegible]
1839. S. 1111.

Geist, dass die Bekanntschaft mit seinen unverfälschten Erzeugnissen eine neue Ära im Abendlande zeitigte. Vorbereitet war genug, nun trat die abendländische Wissenschaft zum erstenmal auf eigene Füße.

Anfangs waren ihre Versuche, selbständig vorzugehen, noch schüchtern, aber es kennzeichnet sie bereits das Bestreben durch eigenes Schauen zu neuem Wissen zu gelangen. Dante Alighieri freilich, der an der Grenze dieser neuen Zeit steht, gelangte dazu noch nicht. Doch aber ist seine göttliche Komödie für die Naturwissenschaft von Bedeutung, weil sie uns auf die Ausbreitung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse in seiner Zeit schließen lässt. Geht er doch zum öfteren auf sie ein! Wohl aber sehen wir diese Richtung Nikolaus von Cusa (1401—1463), der, als Sohn eines Schiffers zu Cues an der Mosel geboren, es zur Kardinalswürde brachte, mit vollem Bewusstsein einschlagen. Indem er alles Erkennen für ein Messen erklärte, brach er mit der antiken Forschung und sprach wohl als der erste diesen der modernen Naturwissenschaft zu Grunde liegenden Satz aus. In seinem Buche de »staticis experimentis« Dialogus (Straßburg 1550), lässt er einen Philosophen sich mit einem Mechaniker über den Gebrauch der Wage unterhalten und ihre Bedeutung für die Naturforschung darthun. Das Beispiel, an dem er sie auseinandersetzt, zeigt klar, wie unbefangen sein Blick gewesen ist. Man könne untersuchen, ob die keimenden Pflanzen ihre Nahrung aus der Luft oder aus dem Boden entnehmen, wenn man eine gewogene Menge von Sämereien in eine gewogene Menge Erde einlege und das Gewicht der gekeimten Pflanzen und das der Erde, in der sie gewachsen, bestimme. So wollte er auch die Wage zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit benutzen, indem er die Gewichtszunahme von etwas trockener Wolle bestimmte. Und auch ein Bathometer hat er angegeben, eine hohle Kugel, die mit einem Gewicht von solcher Größe beschwert war, dass sie ins Wasser gebracht, untersinken musste. Beim Aufstoßen auf den Grund löste sich das Gewicht, die Kugel stieg empor und aus der Zeit, die zwischen ihrem Verschwinden und Wiedererscheinen verfloss, sollte die Tiefe des Gewässers bestimmt werden. Wir wissen leider nicht, inwieweit er selbst in der Anfertigung dieser Apparate ging, denn sein noch in der Bibliothek des Hospitals zu Cues vorhandener Nachlass enthält freundlicher brieflicher Mitteilung zufolge nur einige astronomische Instrumente, ein Astrolabium und zwei Himmelsgloben, einen von Holz, einen zweiten von Kupfer. Diese Instrumente benutzten aber seine Zeitgenossen auch und wenn er sich mit der Annahme, dass sich die kugelförmige Erde um ihre Achse drehen müsse, über diese erhob, so war doch seine Begründung dafür, die sich in seinem Werke »de docta ignorantia« ileae 1565) findet, wieder ganz im Sinne seiner Zeit. Diese Bewegung eine natürliche und bedürfe somit keines Antriebes.

allein steht er mit solchen Forschungen unter seinen Mitlebenden da. Auch der italienische Baumeister und Maler Leo Battista 1404 in Genua, gest. 1472 in Rom) hatte ein ähnliches Hygro-

meter, wie der Cusaner, erdacht, nur hing er statt der trockenen Wolle einen trockenen Schwamm an der Wage auf[1], benutzte auch eine Art Camera obscura, um einem größeren Zuschauerkreise Projektionsbilder zu zeigen[2].

Auch andere sich auf die weitesten Kreise erstreckende Wirkungen waren es, die diese Zeit zur Zeit der Renaissance machen sollten. Die Erfindung der Buchdruckerkunst (1440) erweiterte den Blick der damals Lebenden zeitlich, indem sie die Werke der Alten jedem zugänglich machte, während die immer weiter vordringenden Seefahrer die räumlichen Grenzen ihres Wissens immer mehr zurückrückten und der alten Welt eine neue zur Seite stellten. Trotzdem war es nicht die Fülle neuer meteorologischer und geographischer Beobachtungen und Thatsachen in erster Linie, welche den Aufschwung der Naturwissenschaften vorbereitete; denn selbst die wichtige Entdeckung Christoph Columbus' (1436—1506), dass die Magnetnadel etwa 200 Seemeilen westlich von Ferro eine westliche Abweichung von etwa 5° zeigte, deren Größe beim Weiterverrücken nach Westen noch zunahm, während man in Europa eine östliche beobachtete, blieb zunächst vereinzelt, obwohl 1497 Cabot (1477—1557) die Veränderlichkeit der Deklination mit dem Ort auf der Erdoberfläche bestätigte. Dagegen führten die ganz neuen und unabweisbaren Bedürfnisse der Seefahrer zur Aufstellung schwieriger astronomischer und physikalischer Aufgaben, deren Lösung die Naturwissenschaft in die Hand nehmen musste und die eine rasch zunehmende Anzahl Forscher zu immer neuen Arbeiten antreibend, langsam ihrer Lösung entgegen gingen. Der Verlauf unserer Darstellung wird zeigen, dass es gerade diese Aufgaben waren, welche den Aufschwung der Naturwissenschaften und der Experimentierkunst in erster Linie mit bedingten. Über den neuen wurden aber auch die alten Probleme nicht vernachlässigt. Da sie die ersten waren, welche in Angriff genommen wurden, so wenden wir uns zunächst ihnen zu und beginnen mit den Arbeiten auf optischem Gebiete.

Das sechzehnte Jahrhundert.

1. Maurolykus und della Porta. Die Optik.

Es ist das Verdienst des Abtes des Klosters Santa Maria del Porta bei Castra nuovo, es ist das Verdienst des Maurolykus (1494—1575), als erster die Optik von den Fesseln der Autorität des Aristoteles befreit zu haben. Freilich nicht alle ihrer Teile! So schließt sich seine Behandlung der Reflexion an die, welche seine Vorgänger geübt hatten, wie er denn nirgends Kenntnisse über die Lage des Brennpunktes der Hohlspiegel,

---

1) **Alberti**, L'architettura. Venedig 1565. S. 366.

2) **H. Janitschek**, Leone Battista Albertis kleine kunsthist. Schriften. Wien 1877. S. 229.

oder über den Ort und die Größe der von einem solchen entworfenen Bilder verrät. Seine Erklärung des Regenbogens bedeutet sogar der von den arabischen Gelehrten gegebenen gegenüber einen Rückschritt. Lässt er ihn doch durch siebenmalige Zurückwerfung des Lichtes entstehen, weil er die vier Hauptfarben Orange, Grün, Blau und Purpur (croceus, viridis, coeruleus et purpureus) und zwischen ihnen drei Übergangsfarben (connexiones), also im ganzen sieben annehmen zu müssen glaubt, und wenn er auch die Erklärung des Nebenregenbogens als eines Spiegelbildes des Hauptregenbogens verwarf, so war die Begründung dieser Ansicht durch die umgekehrte Reihenfolge der Farben in beiden wenig beweiskräftig. Er hätte daraus vielmehr das Gegenteil schließen müssen. Dagegen traf seine Erklärung der runden Lichter auf dem Waldesboden, der durch enge Öffnungen von beliebiger Form erhaltenen umgekehrten Bilder eines hell beleuchteten Gegenstandes im Gegensatze zu seinen Vorgängern das Richtige. Er findet die Ursache dieser Erscheinung darin, dass jeder Punkt in dem Zwischenraum zwischen den Blättern die Spitze eines Doppelkegels sei, dessen Seitenlinien von den Punkten des Umfanges der Sonnenscheibe ausgehen. Wird der der Sonne abgewandte Teil des Kegels durch eine Ebene geschnitten, so nähert sich die Schnittfläche um so mehr einem Kreis, je mehr sich die auffangende Ebene der zur Achse senkrechten Lage nähert, er wird um so größer, je weiter die Ebene von der Sonne entfernt liegt. »Man[1]) denke sich«, sagt er weiter, »weil zu jedem Punkte der Öffnung ein Lichtkegel gehört, aus jedem Punkte derselben einen Kreis, als die beiden Grundflächen jener Kegel, auf der auffangenden Ebene beschrieben, so muss die aus allen diesen Kreisen resultierende Figur der Gestalt eines Kreises um so näher kommen, je kleiner die Öffnung im Vergleiche gegen diese Kreise ist, je weiter also die auffangende Ebene von derselben entfernt wird.« Wird nun statt der Sonne eine andere Lichtquelle, z. B. eine Lichtflamme L (Fig. 76) der Öffnung im Schirme D gegenüber gestellt, so wird jeder ihrer Punkte eine Stelle auf dem Schirme F mit seiner Farbe und relativen Helligkeit erleuchten, es wird somit ein umgekehrtes Bild von L entstehen müssen, da diese erleuchteten Stellen in umgekehrter Reihenfolge auf F zu liegen kommen.

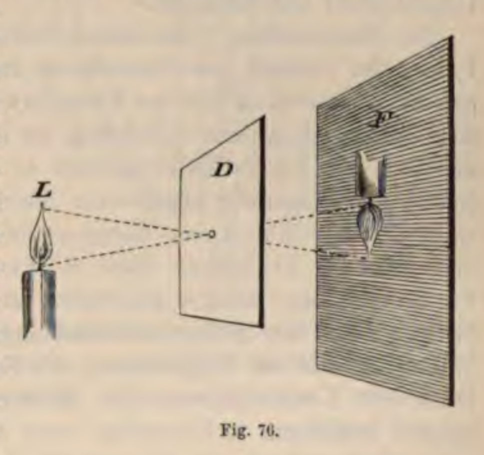


Fig. 76.

1) Maurolycus, Theoremata de lumine et umbra. Lugdun. MDCXIII. Theor. XXII. S. 19.

In den die Lichtbrechung behandelnden Theoremen genannten Werkes findet sich der durch Fig. 77 erläuterte Satz aufgestellt[1]), dass ein Lichtstrahl, der auf ein durchsichtiges von zwei parellelen Ebenen begrenztes Mittel fällt, nach der Brechung seiner vorigen Richtung parallel weiter geht. Dort findet man auch den ersten Hinweis auf die diakaustische Fläche, welche entsteht, wenn Sonnenstrahlen eine mit Wasser gefüllte gläserne Kugel, eine sogenannte Schusterkugel, durchsetzen.

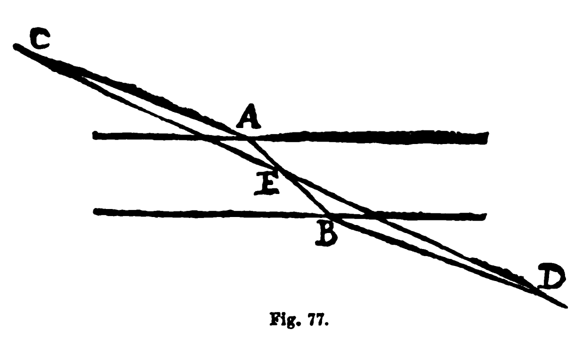


Fig. 77.

»Mitzuteilen[2]) ist«, sagt er darüber, »dass, indem ich Sonnenstrahlen durch eine durchsichtige Kugel hindurchgehen ließ, nicht alle in denselben Punkt zusammenliefen; jeder von ihnen schneidet den der Achse näheren und wird von dem entfernteren geschnitten. Die aus der Kugel tretenden Strahlen bilden also einen Kegel, dessen Grundfläche die Oberfläche eines Teiles der Kugel ist, innerhalb dessen die Durchschnittspunkte aller Strahlen liegen. Seine Seiten sind aber nicht gerade Linien, sondern, wegen der aufeinander folgenden Schnitte der Strahlen, krumme; der Scheitel aber ist die äußerste Grenze jener Durchschnitte.«

Die Beschreibung[3]) des anatomischen Baues des Auges durch Maurolykus ist deshalb von besonderem Interesse, weil er die Arbeiten des großen Anatomen Andreas Vesalius benutzen konnte. Die seiner Beschreibung beigegebene Abbildung ist in Fig. 78 reproduziert. Die Eigenschaften der Krystalllinse erklärte er aus den ihm bekannten der Glaslinsen, von denen die bikonvexen die Strahlen in einem Punkte der Achse sammeln, die bikonkaven dagegen die Strahlen zerstreuen, so zwar, dass eine stärkere Krümmung diese Wirkung verstärkt. Da nun die hintere Fläche der Linse stärker gekrümmt ist, wie die vordere, so wird seiner Meinung nach eine geringere Krümmung jener Kurzsichtigkeit, eine stärkere Weitsichtigkeit zur Folge haben, die Kurzsichtigen müssen sich also einer Brille mit Konkavgläsern, die Weitsichtigen einer solchen mit Konvexgläsern bedienen.

Auch über Mechanik, die magnetischen Eigenschaften der Körper u. s. w. hat Maurolykus geschrieben, ohne dass er auf diesen Gebieten bemerkenswertes Neues geleistet hätte. Erwähnt sei hier nur seine Erklärung des von Nemorarius eingeführten Wortes Moment. »Moment[4]) ist«, sagt

---

1) Maurolycus, a. a. O. S. 37.
2) Maurolycus, a. a. O. Lib. I. theor. 24. Scholion.
3) Maurolycus, a. a. O. Lib. III. S. 79.
4) Archimedis monum. ex traditione Maurolyci. Panormi 1685. S. 86.

er, »die Kraft eines in einem bestimmten Abstand eine Gegenwirkung ausübenden Gewichtes, weshalb die Momente gleicher Gewichte ungleich sein können und umgekehrt folgt, dass die Gewichte gleicher Momente ungleich sein können.«

Neben den tüchtigen Arbeiten des Abtes von Santa Maria spielen die seines um ein Menschenalter jüngeren Landsmannes, des Neapolitaners Giambattista della Porta (1538—1615), eine recht bescheidene Rolle, wenn sie auch bei den Zeitgenossen weitaus größeres Aufsehen erregten. Ohne viel Kritik zu üben, sammelte Porta bereits in seinem 15. Jahre namentlich aus den Schriften seiner Vorgänger alles, was auf weitere Kreise Eindruck machen konnte, in seiner »Magia naturalis«, einem Buch, das für eine Anzahl späterer ähnlicher Sammelwerke zum Vorbild gedient hat. Sein beispielloser Erfolg veranlasste ihn 1589 eine neue Auflage herauszugeben, die jedoch mit größerer Vorsicht abgefasst wurde. Da er seine Quellen nicht namhaft macht, so ist der Wert seiner Mitteilungen für die geschichtliche Forschung kein allzu hoher; es ist fraglich, ob die Erfindungen, welche ihm daraufhin zugeschrieben wurden und werden, auch wirklich von ihm herrühren. Von vielen wissen wir, dass sie vor ihm bereits bekannt waren, von anderen bleibt der Urheber unsicher. Jedenfalls ist es zu verwerfen, wenn auf unklare Andeutungen hin man ihm Errungenschaften, die einer späteren Zeit angehören, hat zueignen wollen.

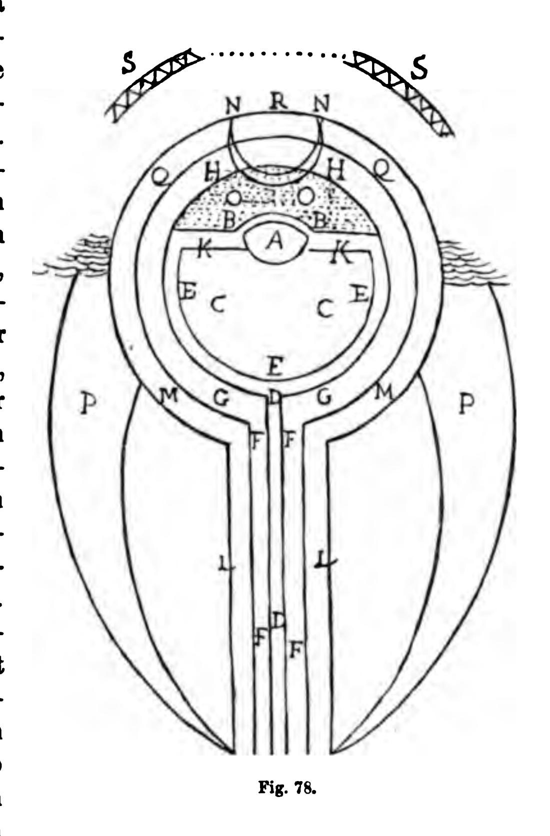


Fig. 78.

Zu den ersten gehört auf optischem Gebiete, das er mit Vorliebe bearbeitet hat, die Camera obscura und die Zusammenstellung zweier Linsen, zu den letzteren der Winkelspiegel und der Hohlspiegel. Seine Camera bestand aus einem dunklen Zimmer, in dessen Laden er die enge Öffnung durch eine Linse ersetzte. Indem er als Gegenstand auch transparente Bilder benutzte, erhielt er die Laterna magica. Erfunden hat er beide wohl nicht. Einer Bemerkung in Cesarinis italienischer Übersetzung

des Vitruv[1]) zufolge hat der Benediktinermönch Dom Panunce, den Govi[2]) Don Papnutio nennt, den nützlichen Apparat angegeben.

Die Gesetze des Winkelspiegels, den mit seinen Bildern Fig. 79 darstellt, legt della Porta dar. Er leitet aus der sich aus dem Reflexionsgesetz ergebenden Kongruenz der rechtwinkeligen Dreiecke, deren Hypotenusen AO', Ao', AO'', Ao''... sind, ab, dass die Bilder in einem Kreise liegen müssen und ebenso die Gleichheit der Winkel $O'Ao''$, $O''Ao'''$ $O'''Ao^{IV}$... einerseits und die der Winkel $o'AO''$, $o''AO'''$, $o'''AO^{IV}$... andererseits, woraus ihre symmetrische Anordnung um A folgt. Ihre Zahl findet er als den um eins verminderten Quotienten aus dem von den Spiegeln eingeschlossenen Winkel in 360°[3]).

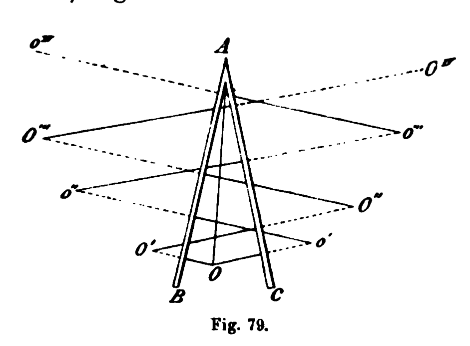


Fig. 79.

Den Brennpunkt der Hohlspiegel nennt Porta den Umdrehungspunkt der Bilder (punctum inversionis imaginum). Er ist der erste, der seine Lage in der Mitte des Radius bestimmt. Halte man das Gesicht, berichtet er, zwischen diesen Punkt und den Spiegel, so werde es überaus groß gesehen. In ihm könnten mit Hilfe der auf den Spiegel fallenden Sonnenstrahlen Blei und Zinn geschmolzen, Gold und Eisen zum Glühen gebracht werden. Auch höre man Worte, die in beträchtlicher Entfernung von vorne leise gegen den Spiegel gesprochen würden, ganz deutlich, wenn man das Ohr in den Brennpunkt bringe. Betrachte man sein Gesicht im Spiegel, indem man sich jenseits des Brennpunktes befände, so sehe man es verkehrt und in der Luft schwebend. So erkläre es sich auch, dass das Bild der Spitze eines dem Spiegel allmählich genäherten Schwertes sich der Hand entgegen bewege und man sich der Täuschung nicht erwehren könne, als ob sie die Hand durchbohre[4]). Seine weiteren Angaben über die Brennspiegel knüpfen an die vor ihm bereits gemachten an und sind wohl mehr theoretische Folgerungen, als aus Versuchen entnommen.

Den Ort des Brennpunktes der Linsen genau zu bestimmen, ist Porta nicht geglückt. So scheiterte er auch bei dem Versuch, den Gang der Strahlen durch die Linsen zu finden. Dagegen beobachtete er, dass die Bilder, welche Konvexlinsen entwerfen, bald vor, bald hinter ihnen, ja dass sie in unendlicher Entfernung liegen können. Das Auge hielt er für eine Camera obscura und fand diese Ansicht namentlich durch die bereits

---

1) Venturi, Essai sur les ouvrages de L. da Vinci. Paris 1797; vgl. Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879. S. 135.

2) Govi, Saggio delle opere di Leonardo da Vinci. 1872.

3) Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838—43. I. Bd. S. 115.

4) Wilde, a. a. O. S. 116.

den Arabern bekannte Thatsache bestätigt, dass die Pupille bei stärkerem Lichte kleiner, bei schwächerem größer werde. Was er außerdem über das Auge sagt, ist wertlos und bleibt weit hinter Maurolykus' Kenntnissen zurück[1]).

Ein gewisses Interesse haben endlich die Versuche, die Zusammenstellung zweier Linsen zu benutzen, weil man in ihnen wohl die erste Idee des Fernrohres hat finden wollen. Porta war nicht der erste, der solche anstellte. Schon der Leibarzt des Papstes Paul III. Fracastoro[2]) (1483 bis 1553) spricht davon. »Wenn jemand«, sagt er, »durch zwei Augengläser blickt, indem er das eine vor das andere setzt, wird er alles viel größer und näher sehen.« Ob hierbei zwei Sammellinsen oder eine Sammellinse und eine Zerstreuungslinse gemeint sind, erfahren wir nicht. Da aber nur die Wirkung erwähnt ist, die eine Sammellinse auch hat, vorher nicht bemerkt wird, dass die Linsen in größerem Abstand voneinander aufgestellt werden müssen, die Beobachtung auch entfernt nicht das Aufsehen erregte, wie 70 Jahre später diejenige, welche zur Erfindung des Fernrohres führte, wird man an ein solches nicht denken können, und das um so weniger, als die viel weitläufigere Auslassung Portas, dem ein solcher alt und jung überraschender Apparat bei seinem großen Sammeleifer schwerlich entgangen sein würde, auch nicht derartiges feststellt. Porta nimmt bei der von ihm beschriebenen Zusammenstellung zweier Linsen eine Sammel- und eine Zerstreuungslinse, die er aufeinander legt. Den Zweck, den er dabei verfolgt, giebt er folgendermaßen[3]) an: »Konkave Linsen lassen entfernte Gegenstände sehr deutlich sehen, konvexe nahe, weshalb man für die Bequemlichkeit des Sehens von ihnen Nutzen ziehen kann. Durch ein konkaves Glas sieht man Entferntes klein, aber deutlich, durch ein konvexes Nahes größer, aber verzerrt. Wenn man beide in richtiger Weise zusammensetzen gelernt hat, so wird man entfernte und ganz nahe Gegenstände vergrößert und deutlich sehen. Ich habe zu öfteren Malen vielen Freunden, welche Entferntes unrein, Nahes verzerrt sahen, dieses Hilfsmittel gezeigt, so dass sie alles vollkommen gut erblickten.«

Auch diese Beschreibung spricht bei unbefangener Prüfung gegen die Annahme, dass hier ein Fernrohr gemeint sein könne. Die Sammellinse giebt weniger deutliche, wohl verzerrte Bilder, die Zerstreuungslinse zwar verkleinerte, aber schärfere Bilder. Der Auffassungsweise eines Porta musste es also nahe liegen beide zu vereinigen, um die Vorteile der Vergrößerung zu gewinnen und die Nachteile der sie gebenden Sammellinse zu mildern. In der That kann durch die Zusammenstellung die sphärische und vielleicht auch etwas die chromatische Aberration der Sammellinse vermindert, somit ein besseres Bild erzielt worden sein und so spricht

1) Della Porta, De refractione, optices parte. Libri IX. Neapoli 1593.
2) Fracastoro, Homocentricorum, seu de stellis. Liber unus. Venet. 1538.
3) Della Porta, Magia naturalis. Libri XX. Neapoli 1589. Lib. 18. Cap. 10.

denn auch in seiner 1644 erschienenen »Experimentalphilosophie«[1]) der Jesuit Cabeo (1585—1650), der doch gewiss Portas Magia naturalis kannte, von der Verbindung einer konvexen mit einer konkaven Linse, deren Zweck sei, bei schwachen Augen deutlich lesen zu können.

Es erübrigt noch, einen Blick auf Portas Mitteilungen über Wärme und Magnetismus zu werfen. Auf die letzteren wird im folgenden Abschnitte einzugehen sein, die ersteren erstrecken sich auf die Destillation und die Ausdehnung der Luft. Sie interessieren uns deshalb, weil der eifrig sammelnde Neapolitaner in seinen Mitteilungen über die Destillation angiebt, wie viel Luft, das will in diesem Falle sagen Dampf, aus einer bestimmten Menge Wasser erhalten werden kann, sodann weil er den Apparat beschreibt, den wir in anderer Form bereits bei Heron finden (Fig. 45), und der so oft fälschlich als Thermoskop aufgefasst worden ist. Er besteht aus einer mit Luft gefüllten Retorte, deren Öffnung in ein Gefäß mit Wasser taucht. Erhitzt man die Retorte, so entweicht die Luft, bis sie ihre größte Ausdehnung erfahren hat. Nimmt man nun das sie erhitzende Feuer weg, so dringt das Wasser hinein und füllt sie zum Teil an. Ein Thermoskop sollte dieser Apparat durchaus nicht sein, denn von Temperaturbestimmungen ist bei dem Versuche nicht die Rede.

2. Gilbert und die magnetischen und elektrischen Untersuchungen.

Die Wichtigkeit der Magnetnadel für die neuen Aufgaben, welche der Seefahrt durch die Entdeckung von Amerika und des Seeweges nach Ostindien erwachsen waren, musste zur Folge haben, dass man über ihre wunderbaren Eigenschaften klar zu werden suchte. So finden wir denn die Forscher des 16. Jahrhunderts, den Seefahrer Sassetti, den Servitenmönch Sarpi, die Professoren Scaliger und Cardano mit derartigen Arbeiten beschäftigt. Auch Porta beteiligte sich daran und teilte seine Resultate im 7. Buche seiner Magia naturalis mit. Inwieweit sie ihm gehörten, inwieweit den genannten Männern, wissen wir nicht, doch dürfte Porta die zu seiner Zeit vorhandenen Kenntnisse zusammengefasst haben.

Nicht nur dem Verhalten einer frei schwebenden Nadel schenkte man Aufmerksamkeit, auch die Wirkung zweier Magnete wurde untersucht. Da fand man, dass der Magnet, mit Ausnahme von Eisen, durch alle Körper hindurch wirke, und dass eine über einem Pappdeckel schwebende Magnetnadel in tanzende Bewegung versetzt werden könne, wenn ein Magnetstab unterhalb des Pappdeckels im Kreise herumgeführt würde. Dass ein Eisenstab durch Influenz seitens eines Magneten selbst zum Magneten werden könne, hatte Sarpi dem Verfasser der Magia naturalis mitgeteilt. »Um einer anderen Gabe willen«, schildert dieser[2]) in bilderreicher Sprache den

1) Philosophia experimentalis sive Commentaria in III libr. Aristotelis meteorologicorum. Romae 1644. 2) Della Porta, a. a. O. S. 301.

Vorgang, »empfiehlt sich uns der nämliche Stein, denn wenn er einen anderen Stein anzieht, so hält er ihn nicht nur hartnäckig fest, sondern ergießt und überträgt in dessen Körper einen Ausfluss seiner Kräfte; dieser aber hat sich irgend woher noch reichere Kräfte angeeignet und überträgt und ergießt die nämliche Fähigkeit auf einen anderen, den er mit den Händen ergreift; dieser dritte, durch dieselbe Fähigkeit erregt, reißt andere, sei es aus geringer, sei es aus größerer Entfernung, an sich heran und wirft und strahlt dieselbe Kraft aus, und dieser wieder andere, so dass durch die gegenseitige Erregung er durch dieselbe Kraft, durch die er gehalten wird, andere hält, und aus einem jeden brechen gleichsam ausgeschleuderte Kraftsalven auf den anderen, und in die Höhe gehoben scheinen sie wie zusammengekettet aneinander zu hängen«.

Der ausstrahlende Magnetismus wird dann die Ursache dafür, dass Eisenfeilicht wie ein Bart am Magneten hängen bleibt und selbst, so lange es nicht aus seiner Lage gebracht wird, magnetische Wirkungen auszuüben vermag. »Wenn man«, so schildert[1]) Porta die hübsche, auch jetzt noch als Vorlesungsversuch zum Beweise der magnetischen Moleküle dienende Erscheinung, »Eisenfeilicht auf ein Papier so zusammengehäuft hat, wie die Salbenhändler einen Kegel aufzustellen pflegen und ihm einen Magneten sehr nahe gebracht hat, so nimmt das gesamte Eisenfeilicht dieselbe Kraft auf und zieht einen langen Eisenstab an, indem es ihm dieselbe Kraft erteilt wie von unversehrtem Eisen. Schüttelt man aber das Feilicht und bringt es wieder auf das Papier, so wird jene Kraft gestört und verdorben und es tritt keine Wirkung ein«. Dass das Gewicht eines Stahlstabes dadurch, dass er magnetisch wird, ungeändert bleibt, beobachtete zuerst Robert Norman.

Aus der Magia naturalis hatte der Leibarzt der Königin Elisabeth von England, William Gilbert (1540—1603) seine Kenntnisse über den Magneten geschöpft, als er daran ging, das noch wenig bebaute Gebiet durch die eingehenden Versuche zu erweitern, die der Lehre vom Magnetismus eine wissenschaftliche Grundlage gaben[2]). Nicht nur, dass er den Magnetismus verschiedener Magneteisenerze untersuchte, er stellte auch die ersten künstlichen Magnete von ausgeglühtem Eisen (ferrum decoctum) her. Zerteilte er solche und legte die Stücke auf schwimmende Korkplatten, so nahmen sie die Richtung der frei beweglichen Magnetnadel an, sie mussten also auch Magnete sein, deren Pole analog denen des ganzen Stabes lagen. Die natürlichen Magneten »armierte« er, als der erste, indem er, wie Fig. 80, S. 92, zeigt, ein Stahlband um beide Pole legte und so ihre Wirkung verstärkte. Dass die stärkste magnetische Kraft an den Polen ausgeübt werde, ergab sich, als er kleine, an Drähten befestigte Magnetnadeln

1) Della Porta, a. a. O. 7. Buch, 47. Kap.

2) Guil. Gilberti Colcestrensis, De Magnete magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure; Physiologia nova, plurimis et argumentis, et experimentis demonstrata. Londini 1600.

verschiedenen Stellen eines Magnetstabes gegenüber schwingen ließ. Doch brachten ihn diese Versuche nicht auf eine annehmbare Erklärung der magnetischen Erscheinungen. »Die magnetische Kraft«, sagt er vielmehr [1]), »ist beseelt oder gleicht einer Seele, welche die menschliche Seele, so lange sie mit ihren körperlichen Organen verbunden ist, in vielen Dingen übertrifft«. In derselben Weise würden bereits die alten Griechen die Erscheinung erklärt haben.

Kam er in dieser Hinsicht nun auch nicht zu neuen Anschauungen, so gelang es ihm, die Variation, wie er die Deklination nannte, und die Inklination der Magnetnadel durch die Annahme der magnetischen Erde zu erklären und die Erklärung durch den Versuch zu prüfen. Die Deklinationsnadel war bereits das unentbehrliche Hilfsmittel der Seefahrer geworden, auch die Bergleute wendeten sie damals, worüber uns Agricola [2]) (1490—1555) die erste Nachricht aufbewahrt hat, bei der Anlage ihrer Gruben in ausgedehntem Maße an. Die Inklination hatte der Mechaniker und spätere Vikar an der Sebalduskirche in Nürnberg, Georg Hartmann (1489—1564) im Jahre 1544 zuerst beobachtet und ihre Größe freilich sehr ungenau zu 9° gefunden [3]), während er 1536 die Deklination für Nürnberg zu 10° 15′ bestimmt hatte. Die erste genauere Bestimmung der Inklination führte 1576 Norman mit dem zu diesem Zwecke von ihm zuerst konstruierten Inklinatorium aus und fand sie zu 71° 50′.

Fig. 80.

Die Bussole, die Gilbert zu seinen Versuchen benutzte, ist in Fig. 81 dargestellt. Sie besteht aus einer hölzernen Kapsel, deren Öffnung durch einen Glasdeckel verschlossen ist, so dass man die Bewegung der Nadel verfolgen, der Wind aber keinen störenden Einfluss auf sie ausüben kann. Die mittels eines Hütchens auf einer Spitze schwebende Nadel spielt über einem in 32 Teile (Stücke) eingeteilten Kreise, der die Windrose giebt. Die Teilung der zu markscheiderischem Gebrauche bestimmten Bussole zeigte zweimal 12 Stunden. Ähnlich wie seine Bussole war Gilberts »Instrumentum Declinationis«, wie er das Inklinatorium nannte, eingerichtet. Fig. 82 zeigt das früheste, welches er in der Ausgabe seines Werkes von 600 abbildete. Das der Ausgabe von 1624 ist in Fig. 83, S. 94, abbildet.

Mit diesen Instrumenten ausgerüstet, ging Gilbert an die Prüfung des Magnetismus der Erde. Er stellte durch Magnetisierung einer Eisenkugel

1) Gilbert, a. a. O. Lib. 5. Cap. 12.

2) Agricola, De re Metallica. Basileae 1656. S. 105.

3) Dove, Repertorium II. S. 130. Siehe auch Doppelmayr, Historische ahricht von den Nürnberger Mathematicis und Künstlern. Nürnberg 1730. S. 57.

einen kugelförmigen Magnet, eine **Terella**, wie er ihn nannte, her und zeigte, dass ein solcher an den Polen die stärkste, am Äquator die geringste Anziehung auf eine Magnetnadel ausübe, dass sich aber diese Anziehung auf einen die Kugel umgebenden Raum erstreckt, den er die **magnetische Anziehungssphäre** (orbis virtutum) nannte. Indem er ihn als »den gesamten Raum, durch welchen die Kraft irgend eines Magneten wirkt«, definierte[1]) und ihn, wie Fig. 84, S. 95, zeigt, nebst der Richtung dieser Magnete in demselben sich vorstellte, schuf er die Anschauung, die später zum magnetischen Felde ausgebildet wurde. So einfach in auch jetzt noch giltiger Weise sich aus der Annahme der magnetischen Erde die Inklination und die Nordrichtung der Deklinationsnadel erklären ließ, so ergab sich keineswegs aus ihr die Variation **Gilberts**, also unsere Deklination. Ihre Ursache sollte die ungleiche Verteilung von Wasser und Land auf der Erdoberfläche sein, da nur das Land die Nadel beeinflusse. Dann aber musste die Deklination an jedem Orte der Erde ihren Wert behalten und **Gilbert**



Fig. 81.



Fig. 82.

1) **Gilbert**, a. a. O.: Verborum quorundam interpretatio: »Orbis virtutis est totum illud spatium, per quod quaevis magnetis virtus extenditur«. S. auch Kap. VI.

stand nicht an, abweichende, von Seefahrern gemachte Beobachtungen in deren Unerfahrenheit im Experimentieren, das ja das immer in Bewegung befindliche Meer sehr erschwere, oder aus der Unvollkommenheit der Beobachtungsinstrumente zu erklären.

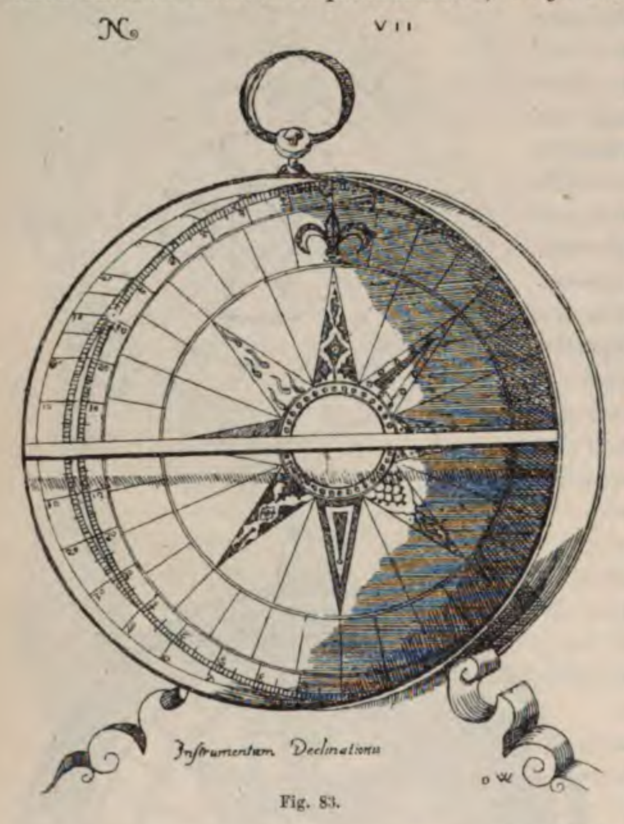


Fig. 83.

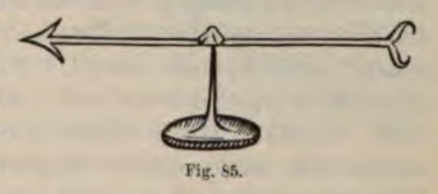
Es entging indessen Gilbert nicht, dass er die Annahme eines magnetischen Erdkörpers auch prüfen könne, wenn er Stahlstäbe an Fäden aufhing und zur Unschädlichmachung der Luftströmungen in Glaskästen einschloss. Der Magnetismus, den sie zeigten, bestätigte die Richtigkeit seiner Annahme.



Fig. 84.

Die Ähnlichkeit der Wirkung eines mit Wolle geriebenen Stückes Bernstein auf leichte Körperchen mit der eines Magneten auf ein Stück Eisen veranlasste Gilbert, auch diese Erscheinung in den Bereich seiner Untersuchungen zu ziehen. Er fand, dass außer dem Bernstein eine Anzahl anderer Körper, Diamant, Saphir, Amethyst, Opal, Beryll, Gagat, Flussspat, Glas, Schwefel, Kolophonium, Mastix, Gummilack, Steinsalz, Siegellack u. a., wenn sie gerieben worden waren, sich ebenso wie Bernstein verhielten, dass aber diese Wirkung nicht eintrat, wenn die Luft feucht war. Da er zwischen beiden Gruppen den Unterschied zu bemerken glaubte, dass durch die magnetische Anziehung Magnet und Eisen, durch die der geriebenen Körper aber nur das leichte Körperchen bewegt werden könne,

so schien ihm ein besonderer Namen dafür notwendig, und er nannte sie elektrische Anziehung oder Bernsteinskraft. Er sah ihr Wesen nach dem Vorgange der Alten in Ausflüssen, welche beim Reiben aus den Körpern herausgepresst würden, und untersuchte sie mit dem in Fig. 85 dargestellten kleinen Apparate, einer mittels eines Hütchens frei auf einer Spitze schwebend aufgestellten Drahtnadel, der als erstes Elektroskop zu bezeichnen ist. Abstoßende Wirkungen zwischen geriebenen Körpern hat er noch nicht beobachtet. In magnetischen Kräften, welche zwischen den Weltkörpern wirken sollten, glaubte er die Ursache von deren Anziehung erkannt zu haben, im Gegensatze zur Schwere, welche nur zwischen den Teilen der Planeten thätig sein sollte.


Fig. 85.

3. Die Astronomie, die astronomischen und mathematischen Instrumente.

Die Astronomie war unter den Naturwissenschaften diejenige, der zuerst das dringende Bedürfnis erwuchs, an Stelle der unfruchtbaren Spekulationen und unzuverlässigen Bestimmungen genauere Daten und zutreffendere Anschauungen zu setzen. Namentlich war es die damals unabweislich gewordene Reform des Kalenders, die auf diese Notwendigkeit immer wieder hinwies. Aber auch für Zeitbestimmungen und astrologische Zwecke konnte man sie nicht entbehren. Dazu waren aber genauere Beobachtungen und, um sie anzustellen, wieder die Verfertigung besserer Instrumente nötig. Beide Thätigkeiten lagen zunächst in einer Hand, der mechanische Künstler war auch zugleich Beobachter, oder wenn man lieber will, der Astronom musste für die Herstellung seiner Instrumente selbst sorgen. War es nun Kopernikus (1473—1543), der an Stelle des für den damaligen Stand der Wissenschaft nicht mehr ausreichenden Ptolemäischen Systemes ein neues setzte, welches der Sonne den ihr vermöge ihrer großen Masse zukommenden Platz im Planetensysteme anwies, so waren es Regiomontan (1436—1476) und vor allem aber Tycho Brahe (1546—1601), welche den Schatz von Beobachtungen sammelten, auf deren Grund des Kopernikus' Ansicht trotz des heftigsten Widerstandes von seiten der Kirche als die allein mögliche erwiesen wurde. Vor der Erfindung der Fernrohre bestanden die für diese Zwecke nötigen Instrumente nur aus Metallteilen, in deren Anfertigung die mechanische Kunst nicht zum mindesten durch die Herstellung der Uhren und der Erzeugnisse der Goldschmiede- und Schlossergewerbe wohl vorbereitet war. Diese Instrumente ermöglichten je länger je mehr auch den Aufschwung der physikalischen Experimentierkunst, und so ergiebt sich für uns die Notwendigkeit, auf das erste Auf-

treten der mechanischen Künste und die Anfänge der wissenschaftlichen Astronomie einen Blick zu werfen.

Beider Wiege war die alte freie Reichsstadt Nürnberg, auch Augsburg leistete bald Tüchtiges. In diesen zwei Städten bestanden schon im 15. Jahrhundert mechanische Werkstätten, deren Vorsteher von den Magistraten ernannt wurden, und als 1471 Regiomontan von Wien nach Nürnberg übersiedelte, gründete er mit Unterstützung des reichen Patriziers Bernhard Walther (1430—1504) eine weitere Werkstatt[1]), welche astronomische und mathematische Apparate herstellte, auch Automaten, welch' letztere »zu aller Anschauenden großen Bewunderung die Bewegung der Sterne zeigten«, gingen daraus hervor. Unter den ihr entstammenden Apparaten wird auch ein großer Hohlspiegel aus Metall gerühmt, und wenn auch nicht für diesen, so erwies sich für die übrigen Erzeugnisse der Werkstatt das kurz vorher erfundene Messing[2]) als ein sehr brauchbares Material. Nach Regiomontans frühem Tode setzte Walther die Arbeiten der Werkstatt, sowie die begonnenen astronomischen Beobachtungen fort, indem er dabei zum erstenmal den Einfluss der Strahlenbrechung auf den Ort niedrig stehender Sterne berücksichtigte und ein Mittel ersann, die Beobachtungen von den durch sie bewirkten Fehlern zu befreien. Auch verdankt man ihm die Einführung von Gewichtsuhren auf den Sternwarten[3]). Ein Teil der Instrumente Walthers wurde nach dessen Tode von seinen Erben verschleudert. Doch legte sich der Rat von Nürnberg noch rechtzeitig ins Mittel und überwies den Rest und die Beobachtungen zur weiteren Bearbeitung dem Astronomen J. Schoner (1477—1547), der eine Ausgabe der letzteren veranstaltete.

Außer diesen Astronomen, die die für ihre Arbeiten notwendigen Apparate selbst verfertigten, gab es eine Reihe zünftiger Mechaniker, die sich neben der Herstellung von astronomischen Instrumenten mit der von Sonnenuhren und Räderuhren, Kompassen, Kanonenaufsätzen, Kaliberstäben, Brillen u. s. w. befassten. Ihre hohe Blüte verdankten diese Gewerbe nicht nur den strengen Zunftgesetzen, sondern auch den Schuleinrichtungen Nürnbergs, welche mathematische Kenntnisse auch denen überlieferten, die eine gelehrte Bildung nicht erhalten konnten. Sie wurden meist von Privatlehrern, den sogenannten Modisten, unterhalten, und einer von ihnen, Johann Neudörffer, hat uns wichtige Nachrichten über die Künstler Nürnbergs seiner Zeit hinterlassen. Die Kompassmacher bildeten eine förmliche Zunft für sich, doch verfertigten sie auch andere Instrumente, und zahlreiche Werke ihrer geschickten Hände sind auf uns gekommen. Hieronymus Reimann (gest. 1577), Hans Troschel (gest. 1612), Erhard

1) Joh. Gabr. Doppelmayr, Historische Nachricht von den Nürnberger Mathematicis und Künstlern. Nürnberg 1730. S. 1—27.

2) S. Günther, In Festschrift zur 65. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. Nürnberg 1892. S. 5.

3) J. L. E. Dreyer, Tycho Brahe. Deutsch von M. Bruhns. Karlsruhe 1894. S. 340.

Etzlaub (gest. 1546), Paulus Pfintzing (1554—1599), Johannes Praetorius (1537—1616) sind Namen, denen man in Sammlungen älterer Apparate nicht selten begegnet. Die Goldschmiede stellten Gewichte und Probierwagen her, berühmt waren die Orgelbauer und auch Lautenmacher, die Diamant- und Gemmenschneider und die Glasmaler der alten Reichsstadt. Auch Brillenmacher übten dort ihre Kunst. Man trug bereits die Brillen als Kneifer auf der Nase, wie ein Holzschnitt Burgkmaiers, welcher ein alchemistisches Laboratorium darstellt, erkennen lässt[1]). Wie geschickt aber einer der berühmtesten Brillenmacher, Hans Ehemann, jener Zeit war, hat uns Neudörffer geschildert. »Er hat einen solchen Verstand«, sagt unser Gewährsmann[2]), »wo einer übersichtig war, konnte er die Brillen dermaßen schleifen, dass sie ihme die aufsteigende Schein in die Augen herab trugen. Einen jeden Alter wusste er die Vergrößerung und Stärke des Gesichts mit der Brillen zu geben und welches mir das Wunderlichste war, er namb ein ebenhoch Venetisch Trinkglas, that den Boden hinweg, brennet das auf der Seiten auf und breitet es im Feuer aus wie ein eben Papier und macht christallene Brillen daraus«.

Die Uhrmacherzunft war mit der der Schlosser bis 1565 vereinigt. Damals trennten sich beide. Der Uhrmacher hatte als Meisterstück zwei Uhren anzufertigen, eine Standuhr und eine von der Form, wie man sie am Halse zu tragen pflegte. Die erstere musste mit ihrem eisernen Gehäuse 6 Zoll lang, $4\frac{1}{2}$ Zoll hoch und $2\frac{1}{2}$ Zoll dick sein; sie musste die Stunden und deren Viertel schlagen, den Kalender, Sonnen- und Mondaufgang und den Planetenlauf zeigen. Wer solche Anforderungen zu erfüllen hatte, musste Tüchtiges leisten können. So gingen denn auch die unter dem Namen der Nürnberger Eier bekannten frühesten Taschenuhren aus der Zunft hervor, die noch Uhrmacher und Schlosser vereinigte. Peter Henlein (1500—1540), fälschlich Hele genannt, soll sie erfunden haben. Zeitgenössische Berichte rühmen von ihm, dass er schon als junger Mann »aus wenig Eisen« Uhren verfertigt habe, die in jeder Lage einen gleichmäßigen Gang behielten. Er soll dann auf den Gedanken gekommen sein, eine spiralig gewundene Feder als Triebkraft zu verwenden. Erwähnt mögen auch noch werden wegen der Automaten, die sie herstellten, die Uhrmacher Hans Bullmann (gest. um 1535) und Kaspar Werner (gest. um 1545), deren Werke, soviel Geschicklichkeit ihre Herstellung auch erforderte, für uns kein Interesse mehr haben.

Wichtiger für unsere Darstellung sind die eigentlich astronomischen Instrumente, die Planisphärien, Armillarsphären, Quadranten u. s. w. Sie waren die wichtigsten Hilfsmittel der damaligen Astronomen, die Peter Bienewitz, genannt Apianus (1495—1552) durch dem Planisphärium

1) Abdruck in Nürnberger Festschrift. S. 37.

2) Joh. Neudörffer, Nachrichten von den Nürnberger Künstlern. Nebst der Fortsetzung von Andreas Gulden 1660. Herausgegeben von Friedrich Campe. Nürnberg 1828. S. 59.

ähnliche Scheibeninstrumente und einen neuen Höhenquadranten vermehrte. Er war es auch, der zuerst Blendgläser zur Beobachtung von Sonnenfinsternissen zu verwenden vorschlug. Für Kaiser Karl V. soll er eine Uhr aus reinem Gold angefertigt haben, welche die Bewegung der Planeten und Fixsterne darstellte.

Weitaus wichtiger für uns sind die Instrumente Tycho Brahes (1546—1601), nicht nur, weil sie an Vorzüglichkeit alle früheren übertrafen und dadurch, obwohl sie nicht mit Fernrohren versehen waren, das reiche Beobachtungsmaterial liefern konnten, welches Keppler seine beiden ersten Gesetze auffinden ließ, sondern auch weil sie Tycho mit großer Sorgfalt abgebildet hat. Er ließ sie in einer eigenen Werkstatt anfertigen. Fig. 86

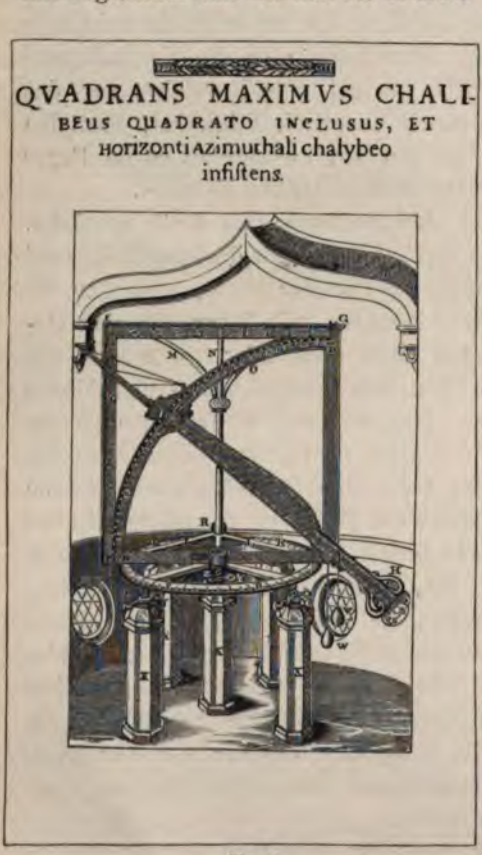


Fig. 86.

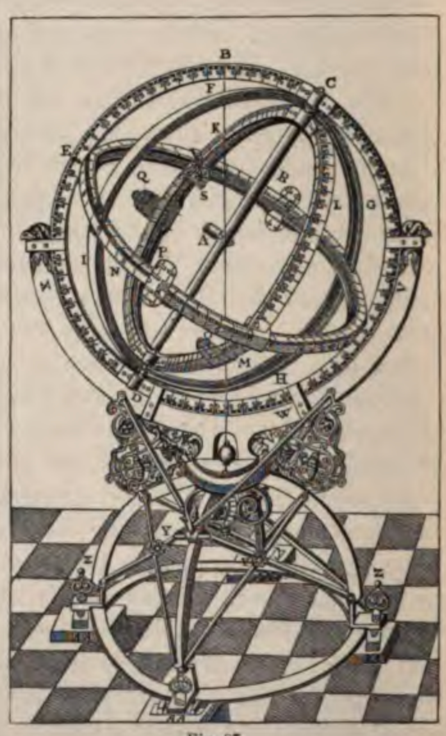


Fig. 87.

zeigt seinen großen Quadranten, Fig. 87 eine Armillarsphäre. Die Abbildungen lassen erkennen, mit welcher [illegible] Eleganz sie ausgeführt waren, während Tycho auf d[illegible] ren Wert legte.
Er benutzte mit Quecksilber [illegible]
Boden; auf die Zeit wurde [illegible]
Metalles geschlossen, dessen [illegible]

gehalten wurde, um eine geänderte Ausflussgeschwindigkeit infolge geänderten Druckes zu verhüten. Namentlich verbesserte Tycho auch die Art der Ablesung; er führte zuerst den Gebrauch der Transversalen bei geteilten Bögen ein. »Er benutzte«, sagt sein Biograph[1]), »nicht Transversallinien, wie sie später (durch Burgi) allgemein in Gebrauch kamen, sondern (wie Fig. 88 zeigt) Reihen von Punkten, welche vollkommen dem Zweck entsprachen und er zeigte, dass der Fehler, der durch Anwendung dieser geradlinigen Transversalen bei der Teilung der Bogen noch entstehen könnte, höchstens 3″ betrüge.« Um aber das Instrument auch mit größter Genauigkeit auf den Stern richten zu können, fügte Tycho am Okularende der Alhidade ein besonderes Visier hinzu. »Dasselbe[2]) bestand aus einer quadratischen Platte, welche einen feinen Schlitz an der der Alhidade zunächst liegenden Seite hatte, wogegen sich drei andere Schlitze zwischen den drei anderen Seiten und kleinen bewegbaren Metallstückchen, die ihnen parallel waren, befanden. Durch Verschiebung dieser Metallstückchen konnten die Schlitze weit oder eng gemacht werden, je nachdem der zu beobachtende Stern schwach oder hell war. Am Objektende war eine kleine quadratische Platte von genau gleicher Größe wie am Okularende angebracht. Wenn nun die Alhidade auf einen Stern gerichtet war und der letztere durch die vier Schlitze hindurch gesehen die drei Seiten des Objektivvisieres berührte und durch einen Schlitz längs der der Alhidade zunächst liegenden Seite schien, so wusste der Beobachter, dass die Alhidade genau und ohne jegliche Parallaxe die gerade Linie zwischen Auge und Stern vorstellte. Für Sonnenbeobachtungen befand sich in der Mitte des Objektivvisiers eine runde Öffnung, durch welche das Licht auf einen kleinen Kreis auf dem Okularvisier fiel, und das Sonnenlicht wurde im allgemeinen »durch einen Kanal« geleitet, um fremdes Licht abzuschließen. In vielen Fällen änderte Tycho die Anordnung, indem er das Objektivvisier durch einen kleinen zur Alhidade senkrechten Cylinder ersetzte. Bei den Armillen war dieser Cylinder in der Mitte der Achse angebracht, während die Okularvisiere die geteilten Kreise entlang gleiten konnten.«



Fig. 88.

Von Tycho Brahes Instrumenten ist wohl kaum noch eines vorhanden[3]), über denen, welche in derselben Zeit Landgraf Wilhelm IV. von Hessen-Kassel (1532—1592) anfertigen ließ, hat ein günstigeres Geschick gewaltet. … von ihm angegebenen und benutzten Apparate befinden sich noch …alten in Kassel und Marburg. Ihren Zweck und die Art, wie der

…er, a. a. O. S. 348. 2) Dreyer, a. a. O. S. 349.
…nd, Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina. Heft XVIII.

Landgraf dazu kam, sie mit vielen Kosten herstellen zu lassen, schilderte 1592 in der Gedächtnisrede nach seinem Ableben Treutler[1]) dahin, dass er nach den Scheiben aus Kartenpapier, die Appian seinem Werke »Astronomicum Caesareum« beigegeben hatte und welche den Zweck hatten, die astronomischen Tafeln und trigonometrischen Rechnungen mit Hilfe von drehbaren mit Teilungen und Spirallinien versehenen Scheiben zu ersparen, durch kupferne ersetzte, später aber zur Konstruktion von Räderwerken, welche den Lauf der Planeten wiedergaben, übersprang. Endlich gelang es ihm, alle diese Zwecke zu vereinigen und die Ephemeriden und die Bestimmungen des Kalenders ohne jede Rechnung zu erhalten. So ließ er zunächst eine Armillarsphäre herstellen, welche die Bewegung der Sonne und des Mondes in der Ekliptik zu veranschaulichen erlaubte[2]), später Himmelsgloben, welche durch ein inneres Uhrwerk in Bewegung gesetzt wurden — der, den er auf Reisen mit sich zu führen pflegte, ist noch in Marburg im physikalischen Kabinet vorhanden, ein anderer etwas jüngerer befindet sich in Kassel, einige weitere hat er anderen Fürsten zum Geschenke gemacht —, endlich zwei große Automaten, welche oben auf einer prismatischen Säule die sichtbare Hälfte der Himmelskugel trägt, an den Seiten aber Zifferblätter mit Zeigern, welche den Gang der Planeten und der Zeit und das Kalendarium darstellen. Der eine dieser Automaten befindet sich im Museum in Kassel, der andere im Johanneum zu Dresden.

Alle diese Apparate konnten ihre Aufgaben nur mit einer beschränkten Genauigkeit erfüllen, welche für den damaligen Stand der Astronomie zwar ausreichte, sehr bald aber nicht mehr genügte. Die mechanischen Kunstwerke verloren dadurch ihren Wert, doch hat noch Huygens sich ein ähnliches verfertigt, Leibniz für ein solches den Entwurf gemacht. Jetzt haben sie, obwohl sie noch im Gange gehalten werden können, nur noch geschichtliche Bedeutung.

Die Konstruktion der früheren Apparate Wilhelms IV. rührte von dessen späterem Hofbaumeister Eberhardt Baldewein (geb. 1568) her, der sich vom Schneiderhandwerk zu dieser Stellung emporgearbeitet hatte, die Ausführung des Uhrwerkes übernahm der Augsburger Hans Buch oder Bucher, die Herstellung und Zurichtung der Metallkugel der Goldschmied Hermann Diepel zu Gießen[3]). Namentlich der Mechanismus der Globusuhr, die, im Inneren der Kugel angebracht, diese dreht, ist sehr kunstvoll, um so mehr, da über einem die Ekliptik darstellenden, die Kugel halbierenden Spalt sich ein Sonnenbildchen bewegt. Diese schwierige Aufgabe ist durch die richtige Wahl der Verhältnisse der Zahnzahlen der Räder gelöst, ja entsprechende Ungleichheiten in der Verzahnung des das Sonnenbildchen be-

1) Vgl. A. v. Drach, Die Globusuhr Wilhelms IV. von Hessen. Marburg 1894. S. 5.

2) Abg. in Cöster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Kön. Museum zu Kassel. Kassel 1878. Taf. I.

3) A. v. Drach, a. a. O. S. 11. Daselbst ist der Globus und sein Uhrwerk abgebildet.

wegenden Ringes geben mit ziemlicher Genauigkeit die wahre, infolge der elliptischen Bahn der Erde nicht zu allen Zeiten gleiche Bewegung der Sonne in der Ekliptik.

Den jüngsten dieser Globen, der sich in Kassel befindet, hat der 1579 von Wilhelm berufene Uhrmacher und Mechaniker Jost Burgi[1]) (1552—1632) verfertigt, dem die Wissenschaft Verbesserungen in der Decimalrechnung und die ersten Logarithmentafeln verdankt. Burgi änderte die Konstruktion der Globen dahin ab, dass er nicht wie Baldewein das Uhrwerk mit dem Globus sich drehen ließ, sondern es fest mit dem Stativ verband. Wichtiger wie diese Arbeiten war die Herstellung einer Uhr mit Horizontalpendel (Unruhe), welche 60 Doppelschläge in der Minute machte. Nach einer brieflichen Mitteilung des Landgrafen an Tycho ging die Uhr von Mittag zu Mittag nicht eine Minute fehl und ermöglichte so die Einführung der Zeit als eigentliches Beobachtungselement[2]), durch deren Einführung der »hessische Sternkatalog« des Landgrafen sich vor den früheren auszeichnete. Außer diesen Arbeiten Burgis ist die Erfindung des Proportionalzirkels zu erwähnen, eines Doppelzirkels mit beweglichem Kopfe, der so gestellt werden kann, dass die Abstände beider Spitzenpaare jedes beliebige Verhältnis miteinander bilden, endlich ein Triangulierinstrument, bestehend aus drei geteilten Stäben mit Dioptern. Der letztere Apparat ersetzt die Winkelmessung am geteilten Kreise durch Richtungsbestimmung von Linien und Herstellung eines dem zu messendem ähnlichem Dreieck. Mittels eines Kompasses bestimmt man seine Lage gegen die Mittagslinie.

Es ist ein gewaltiger Schritt vorwärts, den im sechzehnten Jahrhundert die mechanische Kunst that. Nicht nur, dass sie im Messing sich ein Material von umfassendster Brauchbarkeit schuf, sie lernte es auch in überraschend vollkommener Weise verarbeiten und die am Ende des Jahrhunderts im Gebrauche befindlichen Apparate unterscheiden sich weit mehr von denen, über die man an seinem Anfange verfügte, als von denen, die wir gegenwärtig benutzen. Aber auch die wissenschaftliche Mechanik war nicht zurückgeblieben, wie wir nun noch zu betrachten haben.

4. Leonardo da Vinci, Stevin und die Mechanik.

Leonardo da Vincis (1452—1519) Ruhm als Maler, Bildhauer, Baumeister, Ingenieur und Musiker war bereits bei seinen Lebzeiten ein wohlbegründeter. Man bewunderte neben der Größe seiner Werke auch die

1) E. Gerland, Jost Byrgi, Centralzeitung für Optik und Mechanik 1886. Bd. 7. S. 121. A. v. Drach, Jost Burgi. Was die Schreibung des Namens anlangt, so hat er selbst sich auf den von ihm verfertigten Instrumenten Byrgi, unter allen Urkunden Burgi unterschrieben. Die letzte Schreibweise ist somit die annehmbarste, obwohl der Name wahrscheinlich Bürgi gesprochen worden ist und auch jetzt in der Schweiz, wo die Familie noch existiert, gesprochen wird.

2) R. Wolff, Geschichte der Astronomie. München 1877.

außerordentliche Vielseitigkeit des großen Mannes. Wie erstaunte man aber, als man am Ende des vorigen Jahrhunderts sich daran begab, seine schwer zu lesenden nachgelassenen Papiere, die in Paris, London, Mailand, Rom und Florenz aufbewahrt werden, zu studieren und eine Fülle von Ideen und Entwürfen fand, welche weit über die Anschauungen der Zeitgenossen hinausgingen. Ein eigentümliches Schicksal der Schriften Leonardos hat es verschuldet, dass sie Jahrhunderte unbekannt blieben. Er hatte sie einem Freunde hinterlassen, dessen Erben aber wenig Wert darauf legten, so dass sie in verschiedenen Städten Italiens zerstreut wurden, die Mehrzahl kam nach Mailand. 1796 wurde ein großer Teil nach Paris geschafft und nur zum Teil zurückgegeben; namentlich kam der Codex atlanticus, die Sammlung Leonardoscher Arbeiten, die Aretin seiner Zeit in Atlasformat zusammengestellt hatte, nach Mailand zurück.

Es ist schwer zu sagen, in welcher Weise der Entwickelungsgang der gesamten Naturwissenschaften ein anderer geworden wäre, wenn Leonardo bei seinen Lebzeiten die Ergebnisse seiner Forschungen veröffentlicht hätte, das aber wird behauptet werden dürfen, dass ihn ihre rechtzeitige Mitteilung beschleunigt haben würde. Besäßen sie nicht als Hinterlassenschaft eines so umfassenden Geistes einen selbständigen Wert und wären sie nicht von solcher Tragweite, so könnte eine geschichtliche Betrachtung von ihnen absehen. So, wie die Sachen aber liegen, würde dies eine tadelnswerte Vernachlässigung sein, gerade so, wie sich der Zoolog einer solchen schuldig machen würde, der eine Art, deren Weiterentwickelung durch irgend welche Umstände verhindert abgebrochen ist, unberücksichtigt lassen wollte. Wir werden somit die Forschungsergebnisse Leonardos als ein abgeschlossenes Ganzes betrachten und demnach für sich, wie die zoologischen oder botanischen Funde einer seit langer Zeitepoche von jedem Verkehr abgeschlossenen Insel, behandeln. Deshalb haben wir es auch vermieden, bei der Besprechung der optischen Arbeiten u. s. w. seines Zeitalters auf die Leistungen des großen Forschers auf diesem Gebiet einzugehen.

Von größter Bedeutung sind sogleich die allgemeinen Grundsätze, welche er bei seinen Forschungen befolgte. »Zuerst«, sagt er[1], »stelle ich bei der Behandlung naturwissenschaftlicher Probleme einige Versuche an, weil es meine Absicht ist, die Aufgabe nach der Erfahrung zu stellen und dann zu beweisen, weshalb die Körper gezwungen sind, in der angegebenen Weise zu agieren. Dies ist die Methode, die man bei allen Untersuchungen beachten muss. Es ist wahr, dass die Natur gleichsam mit dem Raisonnement beginnt und durch die Erfahrung endigt, aber gleichviel, wir müssen den entgegengesetzten Weg einschlagen, wir müssen, wie ich schon sagte, mit der Erfahrung beginnen und mit ihren Mitteln nach der Entdeckung der Wahrheit trachten.« Wie richtig er den Wert der Erfahrung beurteilte,

---

1 Venturi, Essai sur les ouvrages de Léonard de Vinci. Paris 1797. S. 4.

zeigt sodann noch schärfer der folgende Satz[1]: »Der Interpret der Wunderwerke der Natur ist die Erfahrung, sie täuscht niemals; es ist nur unsere Auffassung, die sich zuweilen täuscht, weil sie Wirkungen erwartet, welche die Natur nicht giebt.«

Dass dieser Satz jedoch nur gilt, wenn es gelingt, alle begleitenden Umstände, welche das gewünschte Ergebnis zu beeinflussen vermögen, auszuschließen, entgeht ihm freilich und so kann es nicht wunder nehmen, dass er aus seinen Erfahrungen auch falsche Schlüsse zieht. So findet er[2], dass von zwei an den beiden Enden eines Wagebalkens aufgehängten bei der nämlichen Temperatur gleich schweren Metallkugeln, die eine gehoben wird, wenn er sie erwärmt und zieht daraus den nicht haltbaren Schluss, dass die Körper beim Erwärmen leichter würden. Andererseits freilich verkannte er nicht, dass die an einzelnen Fällen gemachte Erfahrung, wenn sie Erkenntnis liefern soll, verallgemeinert werden muss. Darauf will er wohl hindeuten, wenn er sagt[3]: »Es giebt keine Gewissheit, wo man nicht eine der mathematischen Wissenschaften anwenden könnte, oder die nicht in gewisser Beziehung davon abhinge.«

Leonardos Arbeiten erstrecken sich namentlich auf mechanische Probleme. Wie hoch er die Mechanik stellte, zeigt sein Ausspruch[4]: »Die Mechanik ist das Paradies der mathematischen Wissenschaften, da man durch sie zur Frucht der mathematischen Gewissheit gelangt.« Von den Grundbegriffen der Mechanik hatte er sich zutreffendere Vorstellungen gebildet, wie alle seine Vorgänger, namentlich war er über Kraft und Bewegung völlig klar. Die Kraft und nur diese hielt er für die Ursache der Bewegung, denn kein sinnlich wahrnehmbarer Körper könne sich von selbst bewegen, sondern seine Bewegung werde durch ein anderes, nämlich die Kraft, bewirkt, jede Aktion aber erfordere Bewegung und es geht weit über die zu Leonardos Zeit geläufigen Begriffe der Statik hinaus, ja klingt an den modernen Begriff der Energie der Lage an, wenn wir hören: »Wenn du Wasser dem Gewichte nach kaufst, so kannst du dich sehr täuschen. Denn, in der That, wenn du ein bestimmtes Gewicht »totes« Wasser und ein bestimmtes Gewicht fließendes Wasser hast, so kannst du mit dem letzteren Arbeit leisten.« Hinsichtlich des Gewichtes aber stellt er fest, dass es immer auf seine Unterlage drücke.

Von solchen Grundlagen ausgehend, behandelt Leonardo die Gleichgewichtsbedingungen am Hebel und auf der schiefen Ebene. »Es sei«, so erhält er die erstere[5], »AT (Fig. 89, S. 104) der Hebel, sein Drehpunkt in A,

1) Venturi, a. a. O. S. 31.

2) M. Ravaisson-Mollien, Les Manuscrits de Léonard de Vinci, Paris 1881/91. Ms. A. fol. 57.

3) Venturi, a. a. O. S. 32. S. auch Ravaisson-Mollien, Ms. fol. 96 verso.

4) Libri, Histoire des sciences mathém. en Italie, 4 vols. Paris 1838—41. t. III. S. 40.

5) Ravaisson-Mollien, Les Manuscrits de Léonard de Vinci. Paris 1888/92. Ms. E., fol. 65.

das Gewicht O in T aufgehängt, und die Kraft N diejenige, welche dem Gewichte O die Wage hält. Man ziehe AB senkrecht auf BO und AC senkrecht auf CN. Ich nenne AT den reellen, AB und AC den potentiellen Hebel. Man hat dann die Proportion

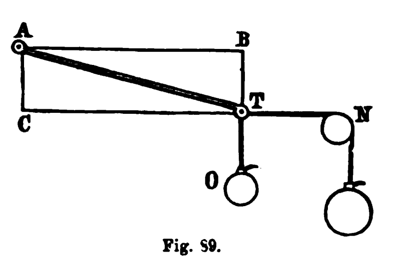


Fig. 89.

$$N : O = AB : AC.$$

Sei nun M das Gewicht, gehalten durch das Seil AM, dessen Ende in A (Fig. 90) befestigt ist; sei ferner das Gewicht und das Seil in AM außerhalb der senkrechten Stellung AB mittels der Kraft F zurückgehalten, deren Richtung MF mit AM einen rechten Winkel bildet, so wird die Kraft F sich zum Gewichte M verhalten, wie $AC : AM$.«

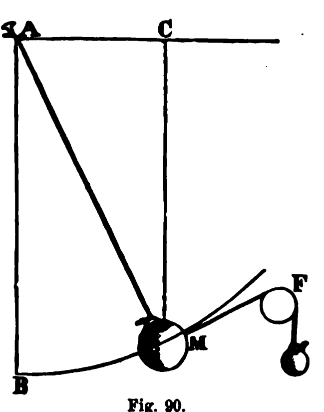


Fig. 90.

»Ist der Faden FM (Fig. 91) durch zwei gleiche an F und M angebrachte Kräfte gespannt, und befestigt man in der Mitte in N ein kleines Gewicht C, so wird dieses den Punkt N bis A herabziehen, während die Gewichte an F und M heraufsteigen. Mit dem Radius MN beschreibe man einen Kreis. Derselbe schneidet AM in B und es wird nun die Bewegung des Gewichtes S an M gleich AB sein. Der Punkt N sinkt herab, bis die Proportion erfüllt ist

$$C : S = BA : NA$$

d. h. die bezüglichen Bewegungen verhalten sich umgekehrt, wie die Gewichte selbst. Daraus folgt, dass wenn der Faden in F und M gespannt ist, das Gewicht C denselben um so mehr belastet, je weniger er sich biegen kann.«

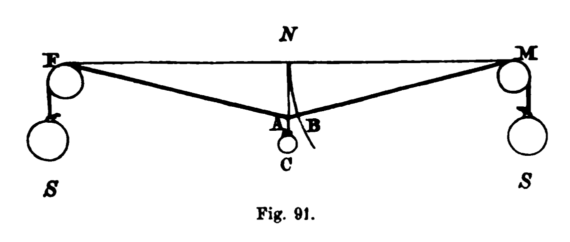


Fig. 91.

Wie Leonardo auf diese Sätze gekommen ist, wissen wir nicht, jedenfalls aber hat er so den allgemeinen Begriff der statischen Momente zum erstenmal festgestellt. Das brachte ihn weiter dazu, Rolle und Rad an der Welle als besondere Fälle des Hebels darzustellen. Auch die Gleichgewichtsbedingung auf der schiefen Ebene leitete er aus der am Hebel ab. Er dachte sich über die Kante, mit welcher zwei mit den Höhen aneinander gebrachte schiefe Ebenen zusammenstoßen, einen Hebel gelegt und bestimmte nach dem Hebelgesetze das Verhältnis der Hebelarme, welches

das Gleichgewicht zweier daran wirkenden, auf der schiefen Ebene ruhenden Lasten bedingt. Den Hebel ersetzte er dann durch eine die Lasten verbindende, über eine Rolle gehende Schnur, welche veränderte Anordnung das Gleichgewicht bestehen lässt. Fig. 92 zeigt die Anordnung, mit deren Hilfe er die erhaltenen Sätze durch den Versuch prüfte. Er kam zu einem Ergebnis[1]), welches das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten wenigstens in seinen Anfängen darstellt. »Wenn die Gewichte und die Arme und die Bewegungen oder auch die virtuellen Geschwindigkeiten«, spricht er es aus, »auf der schiefen Ebene gleich sind, wird das eine Gewicht das andere nicht bewegen«.

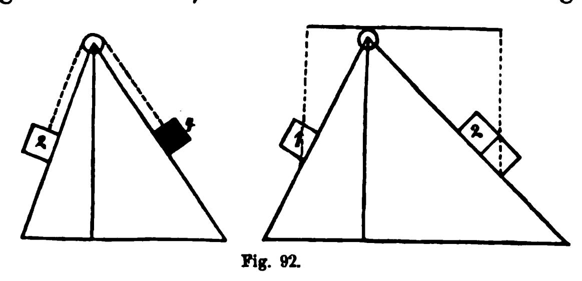


Fig. 92.

Von besonderer Bedeutung sind Leonardos Untersuchungen über den Fall der Körper, weil sie, über die statischen Gesichtspunkte hinausgehend, zum erstenmal von dynamischen Gebrauch machen. Dass er sich dabei von der verkehrten Meinung der Peripatetiker, ein Körper von größerem Durchmesser falle um so viel rascher wie ein anderer, als sein Durchmesser größer ist wie der des anderen, nicht frei machen konnte, hat die Ergebnisse, zu denen er gelangte, zu beeinträchtigen nicht vermocht, da er die letzteren aus Versuchen entnahm. Er ließ Holzklötze von einem Kirchturme herabfallen und merkte sich die Stellen an der Mauer, an denen sie in den einzelnen Fallzeiten vorbeigingen. So fand er, dass die in gleichen Zeiten zurückgelegten Fallräume nach arithmetischer Proportion wachsen. Wenn er somit die Fallgesetze auch nicht richtig erkannte, so beobachtete er doch, dass die Fallbewegung eine beschleunigte ist. Ja mehr noch! Als er anstatt der Holzstücke Bleikugeln nahm, bemerkte er stets, dass sie östlich vom Fußpunkte der Senkrechten den Boden erreichten, welche von ihrem Ausgangspunkte auf die Erdoberfläche herabgelassen werden können. Diese Ablenkung erklärte er bereits aus der Achsendrehung der Erde[2]). Da seine Fallversuche von einem größeren Zuschauerkreise mitbeobachtet wurden, ist es möglich, dass sie in irgend welcher Weise zu Galileis Kenntnis gekommen sind, einen Einfluss auf dessen, dieselbe Aufgabe mit mehr Glück lösende Arbeiten haben sie aber wohl kaum haben können.

Während man zu Leonardos Zeiten die Reibung kaum berücksichtigte, hat er auch diese für alle Mechanismen so wichtige Erscheinung zum Gegenstande seiner Versuche gemacht. Seine Ergebnisse spricht er etwa

1) M. Ravaisson-Mollien, Les Manuscrits de Léonard de Vinci. Paris 1888. E. fol. 58 ad t. 2) Caverni, a. a. O. t. IV. S. 77.

folgendermaßen aus [1]): Die Reibungen der Körper sind von so verschiedener Stärke, als es Verschiedenheiten in der Schlüpfrigkeit der sich reibenden Körper giebt. Die Körper, welche auf der Oberfläche mehr geglättet sind, haben eine geringere Reibung; und weiter: Die Reibung irgend eines Körpers mit verschiedenen Seitenflächen verursacht den gleichen Widerstand, gleichviel auf welcher Seite er liegt, wenn es nur eine Ebene ist, auf welcher er sich reibt. Es hat Jahrhunderte gedauert, bis die in diesen Mitteilungen enthaltenen Gesetze durch Coulomb Gemeingut der Technik wurden.

Haben wir hier über eine reiche Fülle von mehr theoretischen Ergebnissen zu berichten gehabt, so ist die Zahl der von Leonardo vorgeschlagenen Maschinenteilen und Maschinen noch viel größer. Wir können über diese, die ein wesentlich technisches Interesse haben, hier um so mehr hinweggehen, als die meisten wohl Entwürfe geblieben sind. Ähnliches gilt von seinen vielen Vorschlägen für hydraulische Maschinen und Apparate, bei welchen die Luft eine Rolle spielt. Unter den ersteren finden

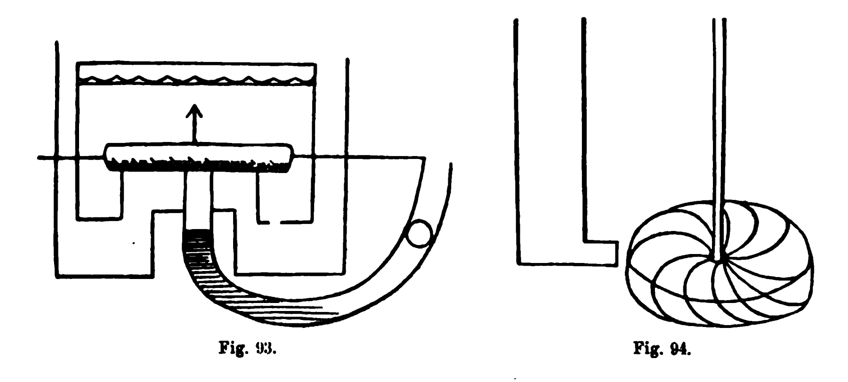


Fig. 93. Fig. 94.

wir u. a. verschiedene Formen von Turbinen, deren Einrichtung aus den dem Codice atlantico stammenden Figuren 93, 94, 95 genügend erhellt. Aus

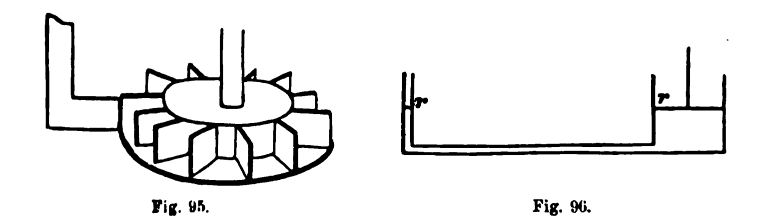


Fig. 95. Fig. 96.

Fig. 96 ist zu entnehmen, dass der große Maler auch das Gesetz der kommunizierenden Röhren kannte und eine Vorstellung von der gleichförmigen Fortpflanzung des durch seinen Kolben auf die im anderen Schenkel befindliche

[1]) L. da Vinci, Saggio del Codice atlantico, Milano 1872, fol. 195.

Flüssigkeit ausgeübten Druck hatte, wie er denn auch bemerkt, dass beim Ausfließen des Wassers aus einer Öffnung am Boden eines Gefäßes die Ausflussgeschwindigkeit der Tiefe der Öffnung unter dem Wasserspiegel proportional ist. Dann wird man aber die im Codice atlantico auf Fol. 285 sich findende Fig. 97 wohl als eine Art hydraulische Presse auffassen dürfen, obwohl Leonardo zu dieser und den ihr ähnlichen Figuren dieses Blattes nicht die geringste Erklärung giebt.


Fig. 97.

Noch sei die Konstruktion einer Lampe, eines Fallschirmes, einer Taucherkleidung, eines Proportionalzirkels mit verschiebbarem Kopfe erwähnt, lauter Probleme, denen wir in späteren Zeiten immer wieder begegnen, endlich eine Art Zentrifugalpumpe, die aber von der unserigen gänzlich verschieden ist. Denn Leonardo wollte am Ausgange des Pumprohres auf mechanischem Wege einen Wirbel erzeugen, dessen saugende Kraft das Wasser im Rohre anzuziehen im stande war.

Die für unseren Zweck noch zu erwähnenden Arbeiten Leonardos behandeln die Wellenbewegung der Luft und des Wassers; die Änderungen der ersteren und einige optische Fragen. Die erstere stellte er sich so vor, dass z. B. ein in das Wasser geworfener Stein in ihm eine erzitternde Bewegung hervorrufe, die sich nach Anweisung von Fig. 98 von Teilchen zu Teilchen fortpflanze, ohne dass diese ihre Plätze änderten. Auch hat er die an den Kreuzungspunkten n zweier Wellenberge entstehenden höheren Stellen wohl beobachtet.

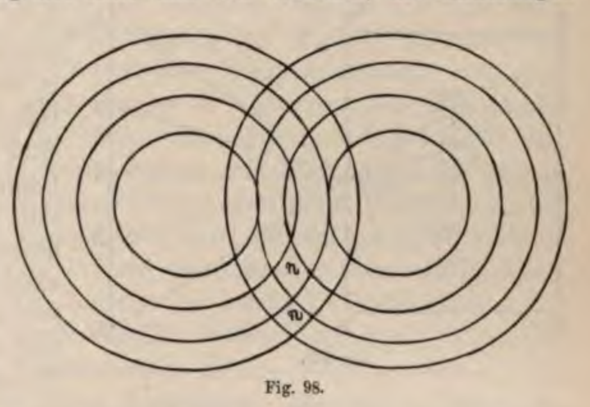


Fig. 98.

Um die Eigenschaften der Luft zu untersuchen, legte er auf beide Schalen einer Wage gleiche Gewichte von verschiedenem Volumen, ließ sie längere Zeit darauf liegen und fand, dass der Wagebalken von Tag zu Tag seine Stellung änderte. Namentlich beobachtete er solche Änderungen bei eintretendem Witterungswechsel, und dies führte ihn auf den Gedanken, daß eine plötzliche Verdichtung der Luft Ursache der Erscheinung sei. Derartige Beobachtungen führten ihn auf die Konstruktion eines Hygrometers[1]),

1) Venturi, a. a. O. S. 28.

welches in Fig. 99 dargestellt ist. An beiden Enden eines zweiarmigen Hebels sind zwei gleich schwere Kugeln angebracht, von denen die eine mit Wachs, die andere mit Baumwolle umhüllt ist. Der Hebel spielt vor einem geteilten Ringe, dessen Mittelpunkt mit seinem Unterstützungspunkte zusammenfällt. Da mit zunehmender Feuchtigkeit die Kugel mit der Baumwollenhülle sank, so glaubte Leonardo, dass das Wachs die Feuchtigkeit abstoße, dass sie die Baumwolle dagegen anziehe.

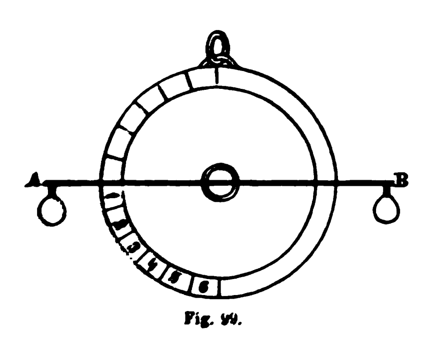


Fig. 99.

Wenn ihm auch die Thatsache der Brechung des Lichtes bekannt war, so hat er sie bei seiner Theorie des Sehens doch nicht berücksichtigt. Er hatte zwar beobachtet, dass das Sehen durch die Entstehung von Bildern der gesehenen Gegenstände zu stande komme. Die Art aber, wie diese Bilder entworfen würden, denkt er sich nach Art der Camera obscura in ihrer einfachsten Form. »Man lasse«, sagt er[1], »durch ein kleines rundes Loch (Fig. 100) das Bild von beleuchteten Gegenständen in ein ganz dunkles Zimmer treten; dann fange man dieses Bild auf einem weißen Papiere, das man in den dunklen Raum nahe der Öffnung aufstellt, auf und man wird alle Gegenstände auf dem Papiere in ihrer wirklichen Gestalt und Farbe sehen, aber viel kleiner, und umgekehrt. Es sei nämlich $ABCDE$ der durch die Sonne erleuchtete Gegenstand, OR die Vorderseite des dunkeln Zimmers, in der bei M eine kleine Öffnung ist; ST sei der Papierschirm, der die Strahlen von den erleuchteten Gegenständen auffängt. Weil die Strahlen gerade sind, wird der von A ausgehende nach K, der von E nach F gelangen, und dasselbe findet in der Pupille statt.

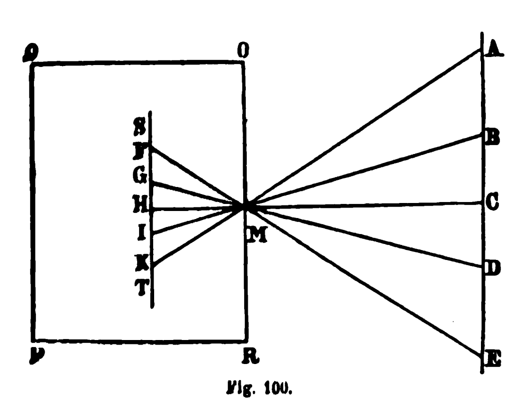


Fig. 100.

Man wird das Geschick beklagen müssen, das diesen reichen Beobachtungsschatz zum Fortschritt der Wissenschaft nicht hat beitragen lassen. Denn der Leser muss festhalten, dass wir in der Schilderung der Arbeiten Leonardos um fast 100 Jahre wieder zurückgegriffen haben. Für den Gang unserer Darstellung war das ja gleichgiltig. Der Hauptinhalt seiner

1) J. P. Richter, The literary works of Leonardo da Vinci. 2 Vol. London 1883. fol. 71. nach Ravaisson-Mollien, Les Manuscrits de Léonard de Vinci. t. II., fol. 8 (recto).

Arbeiten ließ es aber geraten erscheinen, sie mit der Entwickelung der Mechanik zusammenzustellen, die in der nächsten Zeit freilich vielfach nichts anderes zu thun hatte, als die Erfindungen Leonardos noch einmal zu machen. Zunächst war es das ballistische Problem, das der Brescianer Tartaglia (1506—1559), nach ihm der Mathematiker des Herzogs von Savoyen, Benedetti (1530—1590), zu lösen versuchte. Der erstere fand auf experimentellem Wege, dass beim schiefen Wurfe ein Erhebungswinkel von 45° die größte Wurfweite ergiebt. Zu seinen Versuchen benutzte er einen Quadranten, der aus zwei durch einen Viertelkreis verbundenen Linealen gebildet wurde. Das eine Lineal wurde zur Bestimmung der Neigung der Achse des Laufes in diesen gesteckt, das andere mittels eines Senkels vertikal gestellt. Auch dem Einflusse des Gewichtes des Geschosses und seines Durchmessers oder Kalibers (vom arabischen Worte Kalib, d. i. Modell), wendete er seine Aufmerksamkeit zu, fand auch, dass eine gewisse Rohrlänge für jede Ladung die größte Schussweite ergiebt, dass jene mit dieser, aber nicht im einfachen Verhältnisse, wachse[1]). Benedetti arbeitete auf demselben Gebiete mit dem nämlichen Erfolge, doch gelang ihm ebensowenig, wie Tartaglia, die Form der Wurflinie aufzustellen. Dagegen klärte er einige Punkte der Zentralbewegung auf, indem er zeigte, dass ein im Kreise bewegter Körper, der plötzlich losgelassen werde, in der Richtung der Tangente fortfliege. Andere Versuche ließen ihn die Gleichgewichtsbedingung am Winkelhebel unter Benutzung der statischen Momente in derselben Weise bestimmen, wie dies Leonardo gethan hatte. Auch machte er sich von der fehlerhaften Anschauung der Abhängigkeit der Fallgeschwindigkeit von der Größe der fallenden Körper los, indem er zeigte, dass im luftleeren Raume alle Körper gleich rasch fallen. Die Arbeiten Guido Ubaldis, Marcheses del Monte (1545—1607), suchten die einfachen Maschinen auf den Hebel zurückzuführen und leiteten auch zum Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten hin. Über die Errungenschaften Leonardos kamen sie nicht hinaus.

Leonardo erreichte, ja übertraf in Einzelnheiten auf dem Gebiete der Statik der niederländische Deichinspektor Simon Stevin (1548—1620), dessen Schriften aber, wie die seines Vorgängers, lange so gut wie unbekannt blieben. Allerdings aus einem anderen Grunde! Denn Stevin hatte seine Untersuchungen wohl veröffentlicht, aber in seiner Muttersprache, die außerhalb seines Vaterlandes wenig bekannt war. Erst als sein Werk 1634 in französischer Sprache herausgegeben worden war[2]), fand es die verdiente Beachtung.

Obgleich Stevins wichtigste Arbeiten auf hydrostatischem Gebiete liegen, so hat doch von jeher seine Untersuchung des Gleichgewichtes auf der schiefen Ebene am meisten Aufsehen erregt, nicht weil sie einwandsfrei ist,

---

1) Jähns, Geschichte der Kriegswissenschaften. Münch. u. Leipzig 1889. 1. Bd. S. 596.
2) Stevin, Les Oeuvres mathématiques. Leyde 1634.

sondern weil sie überaus originell wirkt und instinktiv jeden überzeugt. Hat doch Mach[1]) gerade sie benutzt, um den heuristischen Wert solcher instinktiver Erkenntnisse, ohne welche ein Fortschreiten der Naturwissenschaft kaum denkbar wäre, daran nachzuweisen. Stevin denkt um ein aufrecht stehendes Prisma ABC, Fig. 101, eine in sich zurücklaufende Schnur mit gleich schweren, in gleichem Abstande befindlichen Kugeln oder eine Kette gelegt, die notwendig im Gleichgewicht sein muss, weil sie sich ja sonst unaufhörlich bewegen würde. Die beiden symmetrischen Teile SL und VK sind also vermöge dieser Eigenschaft im Gleichgewichte, können somit, ohne dass irgend welche Veränderung eintritt, weggelassen werden. Es müssten sich also FS und FV im Gleichgewichte halten, und da die Anzahl der auf diesen Seiten liegenden Kugeln oder Kettenglieder proportional den Längen der beiden schiefen Ebenen AB und BC ist, dass die auf den beiden schiefen Ebenen von gleicher Höhe wirkenden Gewichte sich im Gleichgewicht halten, wenn sie sich umgekehrt wie die Längen der schiefen Ebenen verhalten. Denn es muss ja nun auch Gleichgewicht bleiben, wenn man die Kugeln auf der einen und die auf der anderen schiefen Ebene jedesmal zu einer einzigen vereinigt. Indem er dann die Gewichte in einen zur schiefen Ebene senkrechten und einen parallelen Teil zerlegt, gelangt er, aber auch das ohne eigentlichen Beweis, zu der Fassung des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte, dass drei Kräfte im Gleichgewichte sind, wenn sie sich wie die drei Seiten eines Dreiecks verhalten. Ihm selbst schien dieser Versuch so merkwürdig, dass er ihm auf dem Titelblatte des betreffenden Werkes mit der Umschrift[2]): »Ein Wunder und doch kein Wunder« eine Stelle gab.

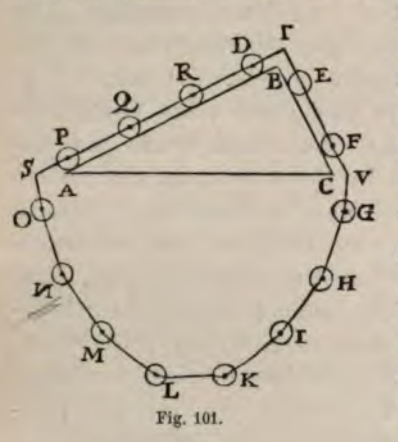


Fig. 101.

Ebenso überraschend wirkt der Satz, den er in der Hydrostatik giebt und der bis auf den heutigen Tag den Namen des »hydrostatischen Paradoxons« führt. Er sagt aus, dass der Druck des Wassers auf den horizontalen Boden eines Gefäßes nur von der Höhe der Wassersäule über dem gedrückten Flächenstücke, nicht aber von der Form des Gefäßes abhängt. Fig. 102



Fig. 102.

1) Mach, Die Mechanik in ihrer Entwickelung. 3. Aufl. Leipzig 1897. S. 26.

2) Stevin, Beghinselen der Weegkonst. Leyden 1586: Wonder en is gheen Wonder.

giebt die Formen der Gefäße, mit denen der Deichinspektor den Nachweis des Satzes lieferte. Fig. 103 stellt den Apparat vor, mit dem er den Auftrieb untersuchte. Er presste gegen das Glasrohr *HF* die Bleiplatte *J* und tauchte beides in das mit Wasser gefüllte Gefäß *ABCD*. Der Druck, den die Flüssigkeit von unten ausübte, hielt die Bleiplatte angepresst. Goss er aber Wasser in *HF*, so fiel die Bleiplatte ab, wenn die Wassersäule im Innern die Höhe des äußeren Wassers erreicht hatte, woraus zu schließen war, dass der nach oben gerichtete Druck so groß sei, wie der von der Wassersäule im Innern von der Höhe des äußeren Wassers ausgeübte.

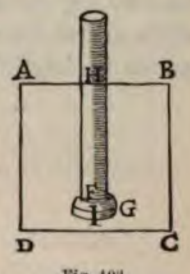


Fig. 103.

Das die Höhen der Wassersäulen in kommunizierenden Röhren regelnde Gesetz erhielt er durch Versuche mit solchen mit oder ohne Ventil. Er fand, dass die Flüssigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch steht, mag der eine auch einen viel größeren Durchmesser wie der andere haben; ein Pfund Wasser im engen könne also denselben Druck ausüben wie 100000 Pfund im weiteren Schenkel, und so gab er den in Fig. 104 dargestellten Apparat an, der nichts anderes wie eine Reaal'sche Presse ist. In den Deckel eines prismatischen flachen Gefäßes setzte er ein enges Rohr *J*, während auf dessen Boden *Rd* ein hölzerner Teller *QP* lag. Der durch die Wassersäule ausgeübte, mit einer Wage bestimmte Druck war auf dem Holzteller *QP* im Gefäße *JRL* so groß wie der im Gefäße *ABCD*, wenn nur die Teller *QP* und *GH* dieselbe Größe hatten und die Höhe des Wassers in beiden Gefäßen die gleiche war.

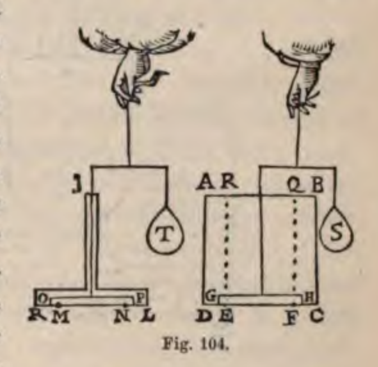


Fig. 104.

Als Gleichgewichtsbedingungen schwimmender Körper fand Stevin die folgenden beiden Sätze, die durch die Fig. 105, S. 112, erklärt werden. 1. Der Schwerpunkt eines schwimmenden Körpers und der Schwerpunkt der gedachten Wassermasse, die den Raum des eingetauchten Teiles dieses Körpers einnehmen würde, liegen in einer Vertikallinie. 2. Damit ein Körper stabil schwimme, muss sein Schwerpunkt unterhalb des Schwerpunktes der gedachten Wassermasse liegen, und zwar schwimmt der Körper um so stabiler, je tiefer sein Schwerpunkt unter dem jener Wassermasse liegt.

Stevins optische Arbeiten stehen an Originalität weit hinter den mechanischen zurück. Sie bringen nichts Neues und bieten nichts, was eine nähere Betrachtung forderte.

Langsam, aber stetig ist die Wissenschaft in dem Zeitraume, dessen Betrachtung wir mit der der Werke Stevins schließen, fortgeschritten.

Dass es in erster Linie die Mechanik war, die sich von der Fessel der die Lehre des Aristoteles allein anerkennenden Scholastik frei zu machen suchte, lag in der Natur der Sache begründet. Bieten sich ihre Thatsachen doch zuerst der unbefangenen Beobachtung dar! Es waren wichtige Aufgaben in Angriff genommen, manches war gelöst, mehr zu thun war übrig.

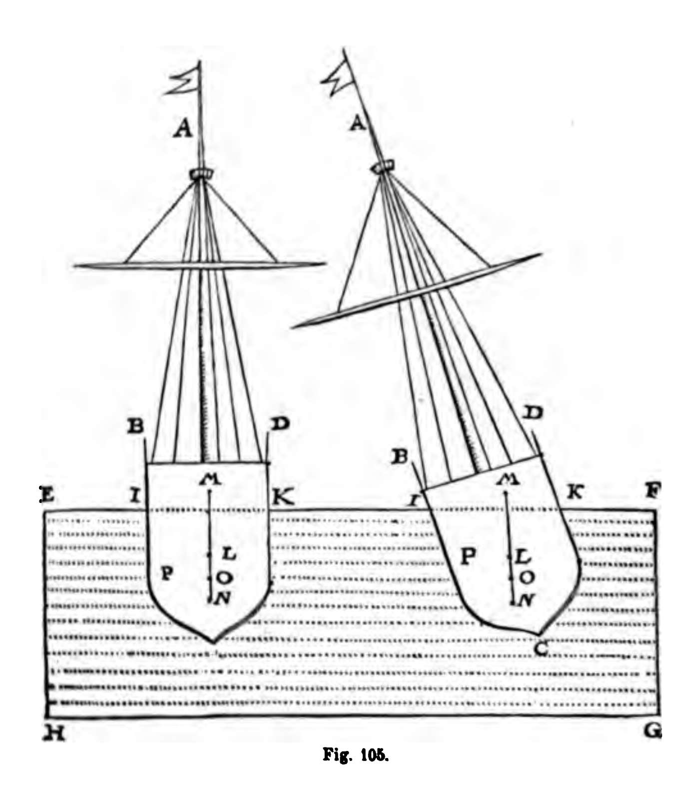


Fig. 105.

Aber wie man theoretisch für die nun erst recht eigentlich beginnende Arbeit vorbereitet war, so war auch die mechanische Kunst so weit gefördert, dass sie selbst schwierigeren Aufgaben genügen konnte. Das zu Grabe gehende Mittelalter hatte die Wichtigkeit des Experimentierens erkannt, es hatte gelernt, Experimente anzustellen. Dies richtig zu thun und die Versuchsresultate zu wahrem Fortschritte der Wissenschaft zu verwerten, lag der nun anbrechenden neuen Zeit ob; von dem Auftreten des Mannes an, der dazu sich fähig zeigte, muss die neue Zeit gerechnet werden.

III.

Geschichte der Experimentierkunst der neueren Zeit.

Galileo Galilei.

1. Spezifisches Gewicht, Fallgesetze und Pendel, Fernrohr, Mikroskop und Thermometer.

Dass die Geschichte der neueren Physik mit Galilei (1564—1642) zu beginnen habe, darüber herrscht gegenwärtig wohl kein Zweifel mehr. Nicht nur, dass es ihm zuerst gelang, an Stelle der früheren lediglich statischen auch dynamische Betrachtungen zu setzen (wie Leonardo da Vinci, dessen Arbeiten er aber nicht kannte) und so alle vorkommenden Aufgaben der Untersuchung zugänglich zu machen, er wandte auch zuerst mit vollem Bewusstsein und in konsequenter Durchführung die Methode der Induktion an, die seit Sokrates gefordert, aber nie wirklich durchgeführt worden war, und indem er an sie die Deduktion anschloss, lehrte er physikalische Gesetze aus Versuchen abzuleiten und so die Waffe zu schmieden, deren Gebrauch die Physik seitdem alle ihre Errungenschaften verdankt. So groß erwies sich an ihm selbst bereits die Macht der neuen Methode, dass er zu richtigen Ergebnissen selbst dann kam, wenn er sich von den Anschauungen der Scholastik nicht losmachen konnte, dass er unter Anwendung unrichtiger Ableitungen richtige Gesetze erhielt.

Es ist nicht richtig, dass Francis Baco von Verulam (1561—1626) es gewesen sei, der die Methode der Induktion in die Naturwissenschaft eingeführt habe. Galilei hatte sie längst geübt, als sie Baco in seinem Novum organon auseinandersetzte; mit der unendlichen Weitläufigkeit, mit der dieser die Versuche anzustellen empfahl, sind solche wohl nie ausgeführt worden. Das Verdienst, sie der Philosophie gegeben zu haben, mag ihm zukommen, auf die Naturwissenschaften hat er keinen Einfluss ausgeübt. Der modernen Experimentierkunst hat Galilei die Wege gewiesen. Was vor ihm mehr oder weniger als zufälliges Ergebnis der Versuche erschien, das lehrte er fest begründen. Mit Recht hat man solche der Natur vorgelegte Fragen genannt, die Antwort darauf bleibt sie nie schuldig, und es ist in unsere Hand gegeben, sie ohne jeden Widerspruch, ohne jede Dunkelheit zu erhalten, indem wir die Fragestellung immer wieder ändern. So liegt in der Art der Fragestellung die große Kunst des Experimentators. Doch ist dies nur die eine Seite seiner Thätigkeit; ebenso wichtig ist die andere, die er berücksichtigen muss, dass die Antwort ohne jedes nicht dazu gehörige Beiwerk erfolgt, dass Apparate zur Anwendung kommen, welche die unvermeidlichen Beobachtungsfehler möglichst klein werden lassen und ihre Größe zu bestimmen gestatten. Derartige Bestrebungen aber finden wir zuerst bei Galilei. Wir sahen, dass die mechanische

Kunst zu seiner Zeit bereits so weit fortgeschritten war, dass sie ihm vielfach wirksame Hilfe bieten konnte. Oft genug freilich war er auch auf die Geschicklichkeit seiner eigenen Hände angewiesen. Wie brauchbar seine Apparate bereits waren, beweisen die, welche noch im Museo di Galilei in Florenz und im physikalischen Kabinet der Universität Padua[1]) erhalten sind; andere kennen wir nur aus Abbildungen.

Galilei war von 1589—1592 Professor der Mathematik in Pisa, von da bis 1610 Professor in Padua, von 1610 bis zu seinem 1642 erfolgten Tode erster Mathematiker des Großherzogs von Toskana in Florenz. Seinen ersten Apparat konstruierte er bereits als Student, die bilancetta, eine Wage, die in einfacher Weise das Problem des Archimedes mit der Krone des Hiero lösen sollte und deren Prinzip sich aus Fig. 106 ergiebt. Ihr Balken war bei C aufgehängt und trug bei D ein Gegengewicht. Wurde an B eine gewisse Menge Goldes mittels eines Fadens befestigt und in Wasser getaucht, so musste, um das Gleichgewicht wieder herzustellen, D bis nach E geschoben werden; nahm man anstatt des Goldes die nämliche Menge Silber und verfuhr ebenso, so war das Gegengewicht nach F zu bringen, nach G also für eine Legierung beider. Castelli[2]) (1577—1644) gab der Wage später die in Fig. 107 dargestellte Form. Er nahm statt der einen zwei

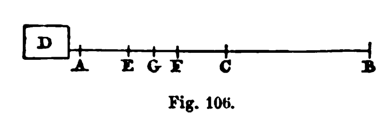


Fig. 106.

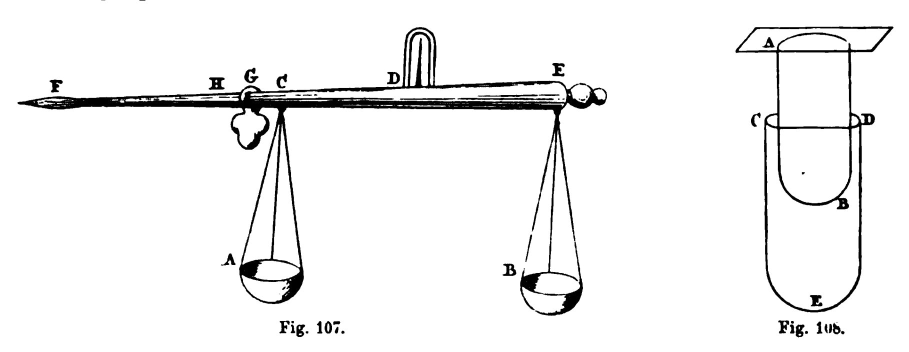


Fig. 107. Fig. 108.

Wagschalen A und B und brachte in die eine zunächst eine Unze Goldes, in die andere eine Unze Silbers. Tauchte er dann beide ins Wasser, so musste er zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes das Laufgewicht von G nach H bringen. Anstatt einer nahm er dann zwei, drei u. s. w. Unzen der Metalle und notierte den Stand des Laufgewichtes. Brachte er endlich nach B eine Legierung, während in A das Silber blieb, so konnte er aus dem Stande des Laufgewichtes sogleich ablesen, wieviel Unzen Goldes sie enthielt.

Zum Nachweis des Archimedischen Prinzips benutzte Galilei wohl ‑r selben Zeit den durch Fig. 108 vorgeführten Apparat, wie er in großer

‑d, Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina 1882. Heft 18. S. 69.
, Opere complete. XIV. Opere fisico matematiche. IV. S. 210.

Ausführlichkeit in einem Briefe an Tolomeo Nozzolini auseinandersetzt[1]). War der Körper AB bei A befestigt, und wurde von unten das bis an den Rand mit Wasser gefüllte Gefäß CED so gehoben, dass AB in das Wasser eintauchte und ein Teil des Wassers abfloss, so war dadurch das Gefäß nicht schwerer geworden. Galilei nahm somit hier einen Versuch vorweg, den später Gay Lussac zu demselben Zwecke benutzt hat.

Vielleicht auch bereits seiner Studentenzeit, sicher der Zeit seines Aufenthaltes in Pisa, gehören Galileis schönste Entdeckungen an, die der Fallgesetze als erstes Beispiel der dynamischen Auffassung der Bewegung und die des Isochronismus der Pendelschwingungen. Die Lehre von den letzteren führte er auf die ersteren zurück. Diese aber hat er durch mannigfache Versuche geprüft, indem er Körper vom schiefen Turm in Pisa fallen ließ und die dazu nötige Zeit mittels einer Wasseruhr bestimmte. Da diese Beobachtungen wegen der zu großen Geschwindigkeit der Bewegung nicht leicht waren, so verlangsamte er die letztere, indem er die zu seinen Untersuchungen dienenden Körper über Pergamentstreifen, die in hölzernen Rinnen lagen, herabrollen ließ. Alle diese Versuche gaben damals keine Gelegenheit zur Herstellung besonderer Apparate; denn die Anwendung des Pendels zu Uhren gehört einer viel späteren Zeit an.

Dass er das Fernrohr selbständig erfunden hat, nachdem er von einem in Holland hergestellten, welches Peter Scoliers[2]) um 1609 nach Venedig, später nach Rom brachte, gehört hatte, ist eine bekannte Thatsache. Er erzählt selbst ausführlich die Art, wie er auf diese Erfindung kam, und seine Mitteilung lässt es vollständig erklärlich erscheinen, warum er dieselbe Linsenkombination anwendete, deren sich auch die Holländer bedient hatten[3]). Nicht ganz so verhielt es sich mit dem Mikroskop, dessen Erfindung ebenfalls Galilei zugeschrieben wird, obgleich er selbst darauf nie Anspruch gemacht hat[4]). Ein ihm in Rom vorgelegtes Instrument dieser Art hat er, ohne noch von der neuen Erfindung zu wissen, erklärt, später freilich auch verbessert und verschiedene solche Instrumente selbst verfertigt.

Das Mikroskop war um 1590 wahrscheinlich von dem Brillenmacher Zacharias Janssen in Middelburg erfunden, und man glaubt daselbst

1) Galilei, Opere complete. XIV. Opere fisico matematiche XII. S. 112. Firenze 1856.

2) Huygens, Oeuvres complètes. II. La Haye 1889. S. 490. Wir möchten die Vermutung aussprechen, dass dieser Scoliers niemand anderes wie Drebbels Schwiegersohn Kuppler war, den Leibniz Kiefler, Monconys Keifer nennt. Machte sich dieser doch ein Gewerbe daraus, die wirklichen und eingebildeten Erfindungen seines Schwiegervaters, zu deren Ausnutzung überall vorzuführen, wie er denn auch 1622 das Mikroskop, dessen Erfindung er für Drebbel in Anspruch nahm, nach Rom brachte. (v. Gebler, Galileo Galilei und die römische Curie. Stuttgart 1876. S. 148.)

3) Gerland, Geschichte der Physik. Leipzig 1892. S. 102.

4) Galilei, Opere. Bd. VI. S. 297. Es ist nicht recht zu verstehen, wie Cohn (Die Pflanze. Breslau 1896. S. 210 und 246) unter Nichtberücksichtigung der keinen Zweifel zulassenden deutschen Arbeiten auf die Autorität Saccardos hin Galilei die Erfindung zueignen kann.

noch den oder einen Originalapparat des Erfinders zu besitzen. Wenn dies in Fig. 109 abgebildete, sehr alte Instrument wohl aus **Janssens** Zeit stammen kann, so ist es doch keineswegs so genügend beglaubigt, dass man seine Herkunft als unzweifelhaft ansehen dürfte[1]. Das Rohr besteht aus einem weißen Blech, die Befestigung der Linsen ist die auch bei frühesten Fernrohren übliche. Sie lehnen sich mit der einen Seite an einen an der inneren Rohrwand angelöteten Ring, gegen welchen sie ein zum Kreis zusammengebogener federnder Messingdraht presst.



Fig. 109. Fig. 110.

Während spätere Zeiten **Galilei** die Erfindung dieses Instrumentes in unrechtmäßiger Weise zueignen wollten, haben sie ihm die Erfindung des Thermometers, die ihm gehört[2]), bestritten. Den im Museo di Galilei in Florenz befindlichen Apparat, der als Originalapparat **Galileis** bezeichnet wird, zeigt Fig. 110. Er ist ein Luftthermometer und es könnte zweifelhaft sein, ob er vor der Entdeckung des Luftdruckes zur Bestimmung der Temperatur dienen konnte, oder ob er nicht, wie die jüngeren, der von **Drebbel**[3]), welcher 1604 oder von **Fludd**[4]), welcher 1617 veröffentlicht wurde im Anschluss an die Versuche **Herons** und **della Portas** als Demonstrationsapparat für die Ausdehnung der Luft durch die Wärme, oder gar als Perpetuum mobile dienen sollte. Der Apparat **Drebbels** ist in Fig. 111 abgebildet, ihm sehr ähnlich ist der **Fludds**. Ihr Hauptbestandteil ist eine mit Wasser gefüllte



Fig. 111.

---

1) **Gerland**, Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876 in **Hofmanns** Bericht über diese Apparate. Braunschweig 1878. Bd. I. S. 50.

2) Vgl. **Wohlwill**, Poggendorffs Annalen. Bd. 124. 1865. S. 163; **Burckhardt**, Die Erfindung des Thermometers und seine Gestaltung im 17. Jahrhundert. Basel [illegible] **[illegible]erni**, Notizie storiche [illegible]enzione del Termometro. Bull. di [illegible] Sc. M[illegible]

[illegible] Tr[illegible] 1604.

Retorte aus undurchsichtigem Material, deren Rohrmündung sich unter Wasser befindet. Die Bewegung dieser ein besonderes Gefäß füllenden Sperrflüssigkeit konnte somit allein beobachtet werden. Erst nachdem Fludd viel später die Retorte durch ein Gefäß mit durchsichtigem Hals ersetzt und diesen mit einer Teilung versehen hatte, war es möglich, auch den Stand der Flüssigkeit in ihm zur Schätzung von Temperaturen zu benutzen. Galilei wollte aber von Anfang an, wie in einem an ihn gerichteten Briefe vom 9. Mai 1614 sein Freund Sagredo bezeugt, sein Instrument zur Messung von Wärme benutzen. Er selbst hat uns hierüber freilich nichts Schriftliches hinterlassen, doch haben wir auch das Zeugnis seines Schülers Viviani[1]) (1622—1703) dafür, wonach er in der Zeit von 1593—1597 es erfunden und in seinen Vorlesungen vorgezeigt hat.

Ob der in Fig. 110 abgebildete Apparat ein Originalapparat Galileis oder nicht ein in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts erst angefertigter ist, kann bei der schönen Ausführung, die er zeigt, zweifelhaft sein. In der That ist der von Caverni (a. a. O.) abgebildete in der technischen Ausführung viel unvollkommener. Doch dürfte dieser Umstand mehr der Zeichnung, als dem Apparat selbst anzurechnen sein, denn auch von einem später zu beschreibenden, sehr kunstvollen Apparat, den die Mitglieder der Accademia del Cimento benutzten und dessen Alter uns gut beglaubigt ist, gilt das nämliche. Dass übrigens bereits zu Zeiten Galileis die berühmten Glaswerkstätten in Murano bei Venedig wohl im stande gewesen wären, einen Apparat, wie den dargestellten zu liefern, kann kein Zweifel sein. In jedem Falle dürfte er als das älteste der uns erhaltenen Thermometer nach Galilei anzusprechen sein.

Mit der weiteren Ausbildung der Erfindung des Paduaner Professors haben sich hauptsächlich seine Freunde Sagredo und Sanctorius (1561—1636) befasst. Suchte der erstere das Thermometer möglichst zu vereinfachen, indem er nur eine horizontal gelegte, am einen Ende zur Kugel aufgeblasene, am anderen offene mit Teilung versehene Glasröhre anwendete, in der die Luft durch einen Tropfen Flüssigkeit abgesperrt wurde[2]), so hatte der letztere, der Professor der Anatomie in Padua war, bei seinen Abänderungen des ursprünglichen Apparates in erster Linie dessen Anwendung zur Bestimmung der Temperatur von Kranken im Auge. Dazu stellte er Thermometer ohne Kugeln her, um die Temperaturbestimmung durch Einführen des Gefäßes in Körperhöhlen zu ermöglichen[3]); durch Verlängerung und entsprechende Biegung des Rohres sorgte er dabei, wie Fig. 112, S. 118, erkennen lässt, für größere Empfindlichkeit[4]); auch erreichte er durch hinlängliche Verengung des die Absperrflüssigkeit enthaltenden Gefäßes, dass deren Ausfließen soviel wie möglich verhindert wurde[5]).

---

1) Nelli, Vita e commercio letterario di Galileo Galilei. Vol. I. Losanna 1793. S. 72; vgl. Caverni, a. a. O. S. 535.

2) Caverni, a. a. O. S. 543. Fig. 3.

3) Caverni, a. a. O. S. 537. Fig. 2.

4) Burckhardt, a. a. O. Fig. V.

5) Burckhardt, a. a. O. Fig. IV.

Eine solche Einrichtung zeigt Fig. 113. Eine später vielfach im Gebrauch befindliche Form des Wärmemessers hat uns Pater Leurechon[1]) (1591—1670) aufbewahrt. Bei ihr kann (Fig. 114) die Absperrflüssigkeit sich in eine kugelförmige Erweiterung des kurzen Schenkels des U-förmig gebogenen Rohres begeben, wenn sie bei hoher Temperatur aus dem Messrohr verdrängt wird. Die Länge dieses Rohres war so bemessen, dass die Flüssigkeit bei der im Sommer vorkommenden höchsten Temperatur bis zu ihrem untersten Ende sank, bei niedrigsten Wintertemperaturen bis zu der Kugel an ihrem oberen Ende stieg. Es trug eine Teilung und zwar teilten die Mediziner den Raum zwischen diesen äußersten Ständen in 4, die Philosophen (Physiker) in 8 Teile, welche dann wieder Unterabteilungen hatten[2]).

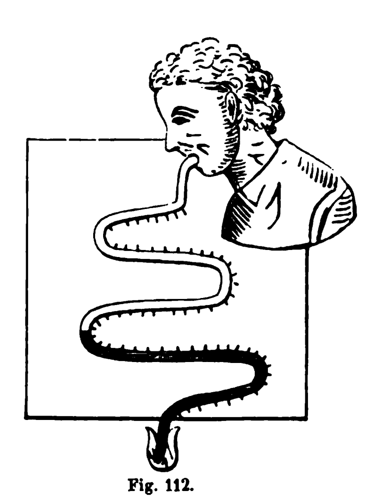


Fig. 112.

Erwähnt sei hier noch der Proportionalzirkel, den Galilei 1596 angab und dessen Erfindung er gegen den sie in Anspruch nehmenden mailändischen Arzt Baldassare Capra (gest. 1626) energisch verteidigte. Seinen Namen trägt dieses Instrument freilich mit viel weniger Recht, wie der Burgis mit verstellbarem Kopfe. Bestand er doch aus zwei durch einen Gelenkknopf verbundenen Linealen, auf deren beide Seiten Linien gezogen waren. Mit ihrer Hilfe konnten die Unterabteilungen von Zollen, die Seiten von ähnlichen Figuren mit doppeltem, dreifachem u. s. w. Inhalt, die Seitenlängen der regelmäßigen in den nämlichen Kreis beschriebenen Vielecke, die den Graden eines Halbkreises entsprechenden Sehnen, die Längen der entsprechenden Seiten ähnlicher Körper und die Gewichte gleich großer aus verschiedenen Metallen hergestellter Körper ermittelt werden. Er war also eine Art Rechenschieber und ist jetzt durch die technischen Kalender, Taschenbücher u. s. w. ersetzt worden[3]).

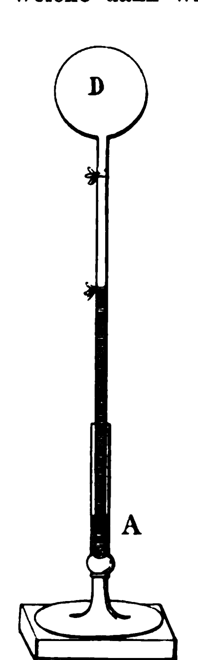


Fig. 113.

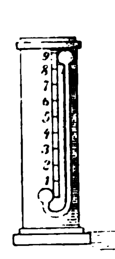


Fig. 114.

1) Leurechon, La Recréation mathématique. Mussiponti 1624. Von Schwenter, übersetzt und unter dem Titel: Mathematische Erquickstunden. Nürnberg 1636 herausgegeben. 2) Schwenter, a. a. O. S. 456.

3) Galilei, Opere XI. Darin auch die Schrift von Capra und Galileis Reclamation: Difesa d. Galileo G[illegible] nie ed imposture di Baldessar

2. Mechanische Untersuchungen. Pendeluhr.

Galileis mechanische Untersuchungen, die er in seinen 1638 in Leiden erschienenen Discorsi e dimostrazioni matematiche[1]) zusammenfasste, sind vorzugsweise theoretischer Natur. Die Ausbeute für die Experimentierkunst in ihnen ist deshalb gering und wir haben nur über den in Fig. 115 abgebildeten Apparat zu berichten, der um deswillen ein besonderes Interesse hat, dass Galilei sich auf die mit ihm angestellten Versuche stützte, als er an Stelle des Abscheus vor dem leeren Raum den Widerstand der Körper gegen ihn setzte. *ABCD* ist ein Glascylinder mit dem kleinen angesetztem Hohlraum *V*. In seinem gut cylindrischen Inneren konnte sich ein genau herein passender Holzcylinder *EFGH* bewegen, der in der Mitte durchbohrt war und einen bei *K* hakenförmig gebogenen, bei *J* kegelförmig verdickten Eisenbolzen trug. Der Kegel *J* passte genau in eine entsprechende Vertiefung des Kolbens, der Bolzen dagegen hatte soviel Spielraum, dass, wenn man die Öffnung des Cylinders *CD* nach oben kehrte und Wasser auf den Holzcylinder goss, dieses in den Glascylinder eindrang und ihn anfüllte. War das geschehen, so wurde der Haken scharf angezogen und der Cylinder umgekehrt, dann an den Haken ein Gefäß gehängt und dieses durch Füllen mit Sand soweit beschwert, dass sich die Oberfläche *EF* des Kolbens von der Wasserfläche trennte. Da nach Galileis Auffassung beide Flächen nur durch die Kraft des Vakuums aneinander gehalten werden, so ergiebt sich dessen Größe, wenn man das Gewicht des Kolbens mit dem Gefäße und dem Sande bestimmt.

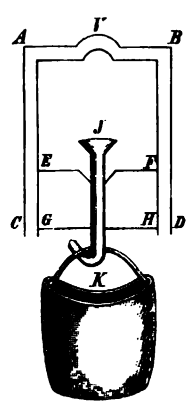


Fig. 115.

Die Discorsi sind in Dialogform geschrieben. Galilei lässt den einen der drei sich unterredenden, Simplicio, Einwände gegen diese Ansicht machen, die derjenige von ihnen, dem er seine eigene Meinung in den Mund legt, Salviati, zurückzuweisen sucht. Dieser Teil des Gespräches lässt uns erkennen, auf welche Weise man damals die Kolben dichtete und wie Galilei die Dichtung prüfen wollte. »Wer sagt uns«, meint Simplicio, »dass Luft nicht durch Glas und durch den Kolben hindurchdringen könne, seien dieselben auch noch so gut mit Werch oder einem anderen weichen Stoffe umgeben? Und folglich, wenn auch der Stöpsel gut die kegelförmige Öffnung verschließt, würde es vielleicht gut sein, mit

...ura. Vgl. Bion, Traité de la construction et des principaux usages des instruments ...athématique nouvelle. La Haye 1723. S. 29. Venturi, Memorie e lettere ...e o disperse di Galileo Galilei. Modena 1818. T. I. S. 18.

[1]) Galilei, Opere. Bd. XIII. In der Übersetzung A. v. Oettingens bilden die ...d das 11., 24. und 25. Bändchen von Ostwalds Klassikern der exakten Wissen-

Wachs oder Terpentin zu schmieren. Warum ferner könnten nicht die Wasserteilchen sich voneinander trennen und eine weniger dichte Masse bilden? Warum dringt die Luft nicht ein oder andere Dünste und Substanzen, die noch feiner sind als die Poren des Holzes, ja selbst als die Poren des Glases?« Darauf antwortet Salviati: »Wenn auch Wasser von Natur ausdehnbar ist, freilich nur unter Anwendung einer gewissen Kraft, wie das bei der Luft der Fall ist, so wird der Kolben sich senken und wenn wir am oberen Teile des Gefäßes ein kleines Stück hervorragen lassen, wie hier bei V, so würde man an dieser Stelle jene zarte Materie sich sammeln sehen, welche die Poren des Glases oder des Holzes durchsetzt hätte, oder Luft, die am Kolben vorbeistreichen könnte. Wenn aber keine solche feine Materie sich zeigt, so dürfen wir den Versuch als mit allen Vorsichtsmaßregeln ausgeführt betrachten; und wir werden zugeben, dass das Wasser nicht dehnbar und dass das Glas selbst für die allerfeinste Substanz undurchdringlich sei.«

Galilei wollte mithin den Kolben in derselben Weise dichten, wie man dies bei den Pumpkolben gewohnt war. Dadurch glaubte er »die vollkommenste Berührung« zwischen Kolben und Cylinder zu erreichen; die Luft freilich mochte das Wasser am Eindringen hindern. Befremdlich aber ist es, dass sich die Oberfläche des Kolbens vom Wasser getrennt haben soll, während man hätte erwarten sollen, dass es sich von der Decke löste. Auch fällt es auf, dass Galilei das Aufsteigen der im Wasser enthaltenen Luftblasen nicht erwähnt, die sich bilden mussten, da er weder von einem Auskochen noch von rasch aufeinander folgenden Ausführungen des Experimentes redet. Man wird versucht zu glauben, dass der große Forscher es gar nicht angestellt, sondern nur als eine theoretische Forderung mitgeteilt hat.

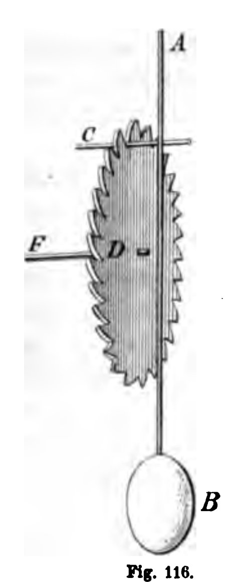


Fig. 116.

Die Versuche mit dem Pendel zur Beglaubigung der Pendelgesetze ließen sich leichter ausführen. Schon die Beobachtung der Schwingungen der an langen Seilen hängenden Kronleuchter der Kirchen gab dazu Gelegenheit, worauf Galilei selbst aufmerksam macht[1]). Nachdem er aber einmal den Isochronismus der Pendelschwingungen gefunden, erkannte er sofort, wie nützlich das Pendel als Zeitzähler werden könne. Er stellte sich einen solchen her, musste aber sein Pendel durch ihm von Zeit zu Zeit erteilte Stöße in Bewegung halten. Wie er es mit einem Zählwerk in Verbindung brachte, zeigt Fig. 116. An dem Aufhängefaden oder -drahte des Pendels AB ist eine Borste C befestigt, die so lang ist, dass sie in die Lücken des aus Karton ausgeschnittenen, mit dreieckigen

1) Galilei, Untersuchung [illegible] 11. S. 85.

Zähnen versehenen Rädchens D greift, das sich auf der Achse F drehen kann. Schwingt das Pendel nach hinten, so gleitet die Borste über die schief aufsteigende Seite des Zahnes hin, ohne das Rädchen mitzunehmen, schwingt es wieder nach vorn, so drückt es sie gegen die senkrecht abfallende Seite und schiebt so bei jeder Doppelschwingung das Rädchen um einen Zahn vor. So war es leicht, die in einer bestimmten Zeit ausgeführten Pendelschwingungen zu zählen[1]).

Dieser noch recht unvollkommene Apparat genügte für Galileis astronomische Beobachtungen, für welche nach Wilhelms IV. von Hessen Vorgang, wie wir sahen, die Zeit ein wichtiges Element geworden war. Als aber Galilei die Aufgabe, mit Hilfe des Pendels Längenbestimmungen auf der See vorzunehmen, ernster ins Auge fasste, musste er darauf denken, die Schwingungen des Pendels längere Zeit hindurch im Gange zu erhalten. Dazu musste eine besondere Kraft in Anwendung genommen werden, und als solche bot sich ihm diejenige, welche ein langsam herabsinkendes Gewicht auszuüben im stande ist. Dies führte ihn zu der Erfindung der Pendeluhr.

Die Idee derselben erfasste er kurz vor seinem Tode, als er schon erblindet war. Seinem Sohne Vincenzio (1606—1649) und seinem Schüler Viviani, den einzigen, die damals um ihn sein durften, diktierte er die sie darstellende Zeichnung[2]), die noch im Museo di Galilei in Florenz aufbewahrt wird[3]). Zehn Jahre nach des Vaters Tode unternahm Vincenzio unter strenger Wahrung des Geheimnisses die Ausführung und überzeugte sich mit Viviani von der Richtigkeit des der Uhr zu Grunde liegenden Gedankens. Sein plötzlich erfolgter Tod hinderte freilich, dass die Uhr vollendet wurde, sie wurde mit seinem Nachlasse von seiner Witwe versteigert[4]).

Fig. 117, S. 122, stellt eine Kopie jener Zeichnung in verkleinertem Maßstabe dar. Sie zeigt, dass das Pendel seitlich von dem das Räderwerk tragenden Gestelle angebracht ist und dass seine Achse zwei ein wenig gekrümmte Dornen trägt, welche ihre konkave Seite dem Gestelle zukehren und in abgerundeten Spitzen endigen. Schwingt das Pendel, wie in der Figur nach links, so hebt der eine dieser Dornen einen Sperrhaken in die Höhe und giebt so das Steigrad frei, dessen Bewegung dieser sonst hemmt. Sowie dies aber geschehen ist, greift der andere Dorn unter einen der Stifte, welche seitlich am Kranze des Steigrades angebracht sind, und verhindert nun das Rad weiter zu gehen. Während dieser Bewegung des Pendels ist somit das Rad um einen Zahn weiter gerückt. Schwingt

1) Galilei, Opere. Bd. VII. S. 170.

2) Viviani, Dell' orivolo a Pendolo, s. Galilei, Opere. T. XIV. S. 339. Suppl. S. 338.

3) Galilei, Le Opere. Supplemento. Tab. II.

4) Nelli, a. a. O. Vgl. Galilei, Le Opere. Suppl. S. 340 Anm. Hinsichtlich des Zählwerks und der Pendeluhr vgl. Gerland, Wiedemanns Annalen. Bd. IV. 1878. S. 593 ff.

dann das Pendel nach rechts, so lässt der letztere Dorn das Steigrad wieder frei, es rückt um einen Zahn weiter, vor den folgenden legt aber der erstere den Sperrhaken. Bei jeder Schwingung rückt also das Rad um einen Zahn vor und es hat keine Schwierigkeit, seine Bewegung auf die Zeiger der Uhr zu übertragen. Van Swindens[1] Ansicht, dass das in der Zeichnung sichtbare Räderwerk dieser Übertragung dienen sollte, ist sicher unrichtig. Auf der Achse des unteren Rades muss man sich vielmehr eine Trommel mit darum gewundenem, ein Gewicht tragendem Seil denken: das Gewicht hält dann das Pendel im Gange. Jedesmal nämlich, wenn ein Stift oder Zahn vom Dorne abrutscht, erteilt diesem jener einen kleinen Stoß und ersetzt ihm dadurch den durch Reibung und Luftwiderstand erlittenen Verlust an lebendiger Kraft. In dieser Hinsicht ist die Zeichnung offenbar fehlerhaft, es hat aber nicht die geringste Schwierigkeit, das Pendel außerhalb des Gestelles anzubringen.



Fig. 117.

Galilei hat die Zeichnung, wie erwähnt, nicht mehr sehen und auf ihre Richtigkeit prüfen können, ihm ist aus diesem Fehler also kein Vorwurf zu machen. Dafür, dass sie so gedeutet werden muss, wie wir es gethan haben, und nicht wie van Swinden wollte, sprechen die folgenden gewichtigen Gründe. Sollte das Räderwerk ein Zählwerk sein, so musste die Bestimmung des unteren Dornes die sein, einen Stift des Steigrades nach dem anderen zurückzuschieben. Dann aber war die zugespitzte Form dieses Dornes die denkbar ungünstigste, das Zählwerk musste ganz unsicher arbeiten. Da aber Galilei das in Fig. 116 vorgeführte, viel einfachere und zuverlässigere Zählwerk entworfen hatte, so ist es widersinnig, ihm nun eine solche Verschlechterung jenes früheren Apparates zuzutrauen. Sodann hat, wie erwähnt, Vincenzio die Uhr wirklich und mit gutem Erfolge gebaut, und ein neuerdings danach konstruiertes, ebenfalls gangbares Werk

1) van Swinden, Verhandeling [illegible] Huygens als uitvinder der slingeruurwerken. Verh. van het Kon. Neder[illegible]n Wetenschappen. 3. Amsterdam 1871.

befindet sich noch in Florenz[1]; endlich aber sagt der einzige überlebende Zeuge von Galileis Absichten, Viviani[2], über diese, »dass, wenn man ein Pendel dem Uhrwerke mit Gegengewicht und Feder würde zufügen können, welches man anstatt der gewöhnlichen Feder nähme, es zu hoffen sei, dass die sehr gleichartige und natürliche Bewegung dieses Pendels dazu dienen könne, alle aus seiner Herstellung entspringenden Fehler eines solchen Uhrwerkes zu korrigieren«. Galilei ist also der Erfinder der Pendeluhr.

Die Fortschritte, die Mechanik und Physik Galileis Forschungen verdankte, waren von so großer Wichtigkeit, dabei aber noch so wenig auf ihre Richtigkeit geprüft, dass seine Schüler sich die Aufgabe stellen zu müssen glaubten, diese Prüfung durch Versuche vorzunehmen. Ehe wir uns zu deren Schilderung wenden, betrachten wir die Arbeiten von Galileis Zeitgenossen, von denen einige eine abwehrende Haltung ihm gegenüber einnehmen zu müssen glaubten.

Keppler und Cartesius.

Keppler (1571—1630) war unter den Zeitgenossen Galileis wohl der ihm an Geist am meisten ebenbürtige. Aber seine Thätigkeit war hauptsächlich der Beobachtung der Planeten und der Ergründung von den Gesetzen ihrer Bewegung gewidmet, und so haben wir über Apparate, die er anwendete, Experimente, die er anstellte, nicht zu berichten. Gleichwohl sind seine dioptrischen Untersuchungen auch für das Gebiet, mit dem wir uns beschäftigen, von der größten Bedeutung geworden, denn sie führten ihn auf die Zusammenstellung mehrerer verschieden geformter Linsen, von denen eine, als astronomisches Fernrohr, den Hauptbestandteil so vieler physikalischer Messapparate ausmacht. Ebensowenig jedoch, wie er das Brechungsgesetz in der uns geläufigen Form gefunden hat, hat er ein astronomisches Fernrohr gebaut, dasjenige, was er in jugendlichen Jahren für sich anfertigte, war vielmehr ein Galileisches[3]. Das erste astronomische Fernrohr stellte der Jesuitenpater Scheiner[4] (1575—1650) her, der es auch bereits benutzte, um ein vergrößertes objektives Bild der Sonne behufs der Beobachtung ihrer Flecken in der Dunkelkammer zu entwerfen.

Das Brechungsgesetz hat zuerst Cartesius (1596—1650) gefunden und bereits den konstanten Brechungskoëffizienten als das Verhältnis der Sinus des Einfalls- und Brechungswinkels dargestellt. Bisher hat man als dessen alleinigen Entdecker Snellius van Royen (1591—1626) angesehen, der freilich starb, ehe er es hatte veröffentlichen können. Das Manuskript, in dem er es niedergelegt hatte, ist nie zum Drucke gekommen. Doch glaubte

1) Gerland, Wiedemanns Annalen. Bd. IV. 1878. S. 612.
2) Viviani, Opere di Galilei. T. XIV. S. 352.
3) Alberi, Opere di Galilei. T. VIII. S. 92.
4) Scheiner, Rosa ursina. Bracciani 1620—1630.

man, gestützt auf das Zeugnis von Christiaan Huygens, sicher annehmen zu müssen, dass es Cartesius diesem Manuskript, das er habe einsehen können, entnommen und nur in die obige Form gebracht habe, da Snellius nicht das Verhältnis der Sinus, sondern das der Kosekanten als konstant erkannt hatte.

Wenn nun trotzdem auch durchaus kein Grund vorlag, den großen Forscher des Plagiats zu beschuldigen, wie es vielfach geschehen ist, so hat ein von Korteweg[1] neuerdings aufgefundener Brief von Golius an Constantyn Huygens, den Vater, sogar den Beweis dafür erbracht, dass Cartesius das Brechungsgesetz selbständig, wenn auch wohl nicht vor Snellius, gefunden hat. Aber seine Entdeckung war ein genialer Griff, wohl gefolgert aus der Ansicht, die sich der Erfinder der analytischen Geometrie von dem Wesen des Lichtes gebildet hatte. Er hatte es nur mit Hilfe einer hyperbolischen Linse zu prüfen versucht, welche ihm sein Freund, der Pariser Patrizier Claude Mydorge (1585—1647), der sich mit der Herstellung von Fernröhren und Brennspiegeln eifrig beschäftigte, wohl durch den Mechaniker Ferrier hatte anfertigen lassen[2]. Da man jetzt noch nicht Linsen von genau hyperbolischer Form schleifen kann, vor beinahe 300 Jahren aber um soviel weniger dazu im stande war, so ist Korteweg gewiss im Rechte, wenn er dieser Prüfung nur eine geringe Beweiskraft zuschreibt. Trotzdem war Cartesius von der Richtigkeit des bereits 1629 in seinem Besitze befindlichen Gesetzes überzeugt und fand, als er mit Snellius' Arbeit bekannt wurde, in dieser eine wertvolle, weil auf Experimenten beruhende Bestätigung dieses Gesetzes.

So wird es verständlich, warum Cartesius so viele Mühe auf die Herstellung hyperbolischer Linsen verwendet hat[3]. Zu diesem Zwecke musste er zunächst das Brechungsvermögen der zu verwendenden Glassorten bestimmen, was er mit dem in Fig. 118 abgebildeten Apparate bewerkstelligte.

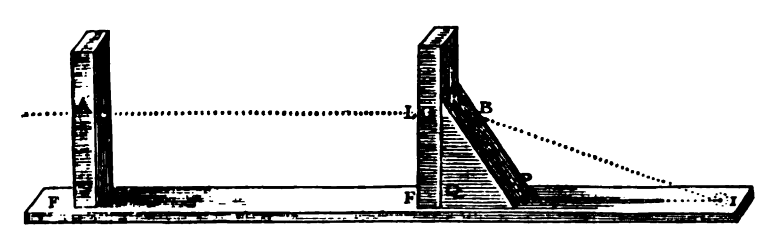


Fig. 118.

Auf das nicht blank polierte, aus irgend einem Stoffe bestehende Lineal *FJ* sind die beiden Diopter *A* und *L* aufgesetzt, die in gleicher Höhe

1) Korteweg, Revue métaphysique et de Morale. 4. Année. No. 4. Juillet 1896. S. 489 ff.

2) Huygens, Oeuvres complètes. Vol. I. S. 66 Anmerkung.

3) Renati Descartes, Specin[illegible] philosophiae. S. 140. Opera philosophica. Ultima editio. Amst[illegible] 1692.

über dem Lineale kleine Öffnungen besitzen. Hinter FL wird das Prisma RPQ aufgestellt, welches bei Q einen rechten, bei R und P spitze Winkel hat, von denen R der kleinere ist. Ein durch die Öffnungen A und L fallender Sonnenstrahl geht bis zu der geneigten Seite des Prisma parallel FJ hindurch und wird an dieser längs BJ gebrochen. Bei J erscheint dann eine elliptische helle Stelle. Aus dem Dreiecke RPJ bestimmt dann Cartesius auf graphischem Wege das Brechungsverhältnis[1]).

Um der Linse die hyperbolische Form zu geben, wendet Cartesius die Maschine, welche Fig. 119 zeigt, an. Zwischen den zwei prismatischen

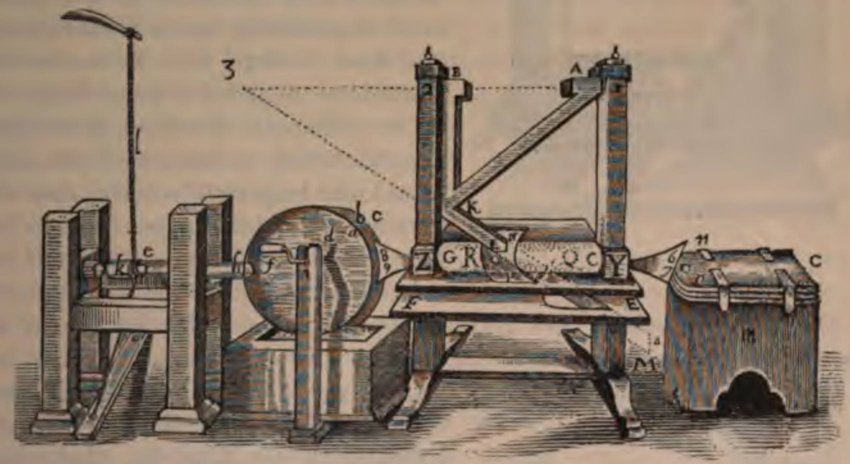


Fig. 119.

Säulen $1Y$ und $2Z$ kann sich der aus den Stäben KB, KA und KM bestehende Körper um die Achse 12 drehen. Das nach unten gehende Lineal beschreibt dann einen Kegel, dessen Seite $3KM$ ist, durch den sorgfältig abgedrehten Cylinder RC, der zwischen den zwei parallel zu 12 aufgestellten planparallelen Platten, deren untere EF ist, rollen kann, gehalten. Beide Platten haben hyperbolische Ausschnitte, PON, so dass KM zwar seine Bewegung ungehindert ausüben kann, dabei aber jeden Punkt des Cylinders zwingt, eine Hyperbel zu beschreiben. Diesen Teil der Maschine stellt Fig. 120, S. 126, größer und genauer dar. Die Achsen des Cylinders sind verlängert, gehen durch die Lager Z und Y und tragen die Messer 67 und 89, von denen das erste konvexe, das letzte konkave Hyperbeln auszuschleifen im stande ist. Mit Hilfe von 67 kann man den Messern nop die richtige Form geben. Da aber 67 nur an der einen Seite schneidet, so wird erst die eine und dann die andere Seite von der Mitte aus oder bis zur Mitte bearbeitet. Die durch Eintauchen in Wasser gehärteten Messer können dann zur Bearbei-

[1]) Den Beweis für das Verfahren, den Cartesius nicht giebt, bringt in einem Anhange der Specimina philosophiae, S. 245, Schooten, wie er ihn von van Gutschoven und Huygens erhalten hatte.

tung der aus hartem Material bestehenden Walze *d* (Fig. 119) dienen, die durch die Kurbel *f* gedreht werden kann. So erhält ihre Oberfläche eine hyperboloidische Form. Doch kann ihr auch von *J* aus durch *89* direkt ihre Form gegeben werden. Presst man dann gegen sie den Cylinder *kih*, auf den bei *h* das abzuschleifende Glasstück aufgesetzt ist, dreht *d* und mittels des Strickes *li* und des Fußtrittes den Cylinder *kih*, so erhält die Glasfläche unter Anwendung eines Schleifmittels, wie Sand, Smirgel oder Zinnasche die gewünschte hyperboloidische Form.

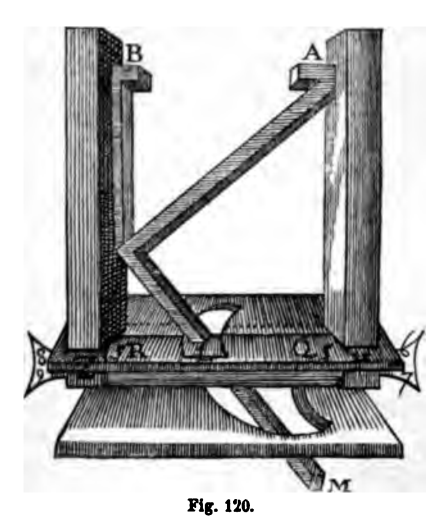


Fig. 120.

So schön die Maschine theoretisch ausgedacht ist, so kann sie doch nicht so akkurat hergestellt werden, dass sie wirklich hyperbelförmige Linsen lieferte. Doch hat Ferrier 1628 mit ihr eine solche konvexe Linse geschliffen[1]).

Bei der Beobachtung des Brechungsvermögens der für die Linsen zu verwendenden Glasstücke mussten farbige Ränder auftreten. Diese hat Cartesius dadurch berücksichtigt, dass er zur Bestimmung des Brechungskoëffizienten die Mitte des elliptischen Bildchens *J* (Fig. 118) als Bild der Sonne nahm. Dass er in der That die prismatischen Farben beobachtet hat, geht aus dem in Fig. 121 dargestellten Versuche hervor, den er zur Erklärung der Farben des Regenbogens benutzte[2]). Er ließ unter einem nahezu rechten Winkel die Sonnenstrahlen *A*, *B*, *C* auf die eine Seite eines Prismas, *MNP*, fallen, dessen brechender Winkel 30 bis 40° betrug, bedeckte die andere mit einem undurchlässigen Schirme *NP* und beobachtete auf einem zweiten weißen, senkrecht zu *NP* aufgestellten Schirme die durch die kleine in *NP* befindliche Öffnung *DE* fallenden Lichtstrahlen. Sie wurden beim Austritte aus dem Prisma gebrochen, und auf dem weißen Schirme erschienen die Regenbogenfarben, bei *F* immer Rot, bei *H*

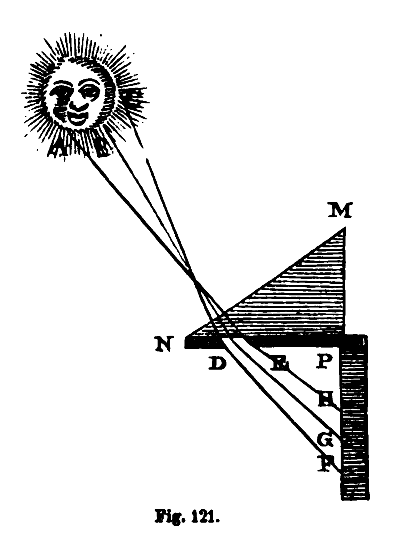


Fig. 121.

1) Vgl. Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879. S. 316.
2) Cartesius, Specimina philosophiae. S. 215 ff.

Blau oder Violett. Er suchte sich Rechenschaft zu geben, auf welche Weise diese Farben entstehen könnten. Waren die Flächen MN und NP parallel, so traten die Farben nicht auf. »Ich war nicht im Zweifel«, sagt er[1]), »dass das Licht nötig sei, um diese Farben zu erzeugen, denn ohne es nehmen wir nichts wahr. Außerdem aber bemerkte ich, dass der Schatten oder die Begrenzung des Lichtes nötig sei. Denn wenn der Schirm NP weggenommen wurde, erloschen die Farben FGH sogleich, und sobald die Öffnung DE weit genug gemacht wurde, breitete sich das Rot, Orange und Gelb in F nicht weiter aus, und ebensowenig das Grün, Blau und Violett in H, sondern der ganze mittlere Raum bei G blieb weiß.«

»Als ich dies gefunden hatte, suchte ich den Grund, weshalb diese Farben andere in H wie in F sind, da doch Brechung, Schatten und Licht an beiden Punkten sich gleich verhalten, und indem ich die Natur des Lichtes beachtete, wie ich sie in der Dioptrik beschrieben habe, nämlich als die Bethätigung oder Bewegung eines feinen Stoffes, dessen Teile als kleine, die Poren der irdischen Körper durchdringende Kügelchen zu betrachten sind, erkannte ich, dass diese Kügelchen durch die Verschiedenheit der Ursachen, welche ihre Bewegung bedingen, in verschiedener Weise bewegt werden, und dass insbesondere alle Brechungen, welche nach derselben Seite vor sich gehen, sie dazu bringen, nach derselben Seite zu rotieren: dass aber, da sie keine benachbarten haben, welche viel schneller oder langsamer sich bewegen, die zirkulare Bewegung sehr nahe einer geradlinigen gleich sei. Nun aber haben sie auf einer Seite benachbarte Teilchen, welche langsamer sich fortbewegen als sie, und auf der anderen solche, welche sich rascher oder wenigstens gleich rasch fortbewegen, wie es an der Grenze zwischen Licht und Schatten der Fall ist; wenn sie denen, welche sich langsamer bewegen, von der Seite begegnen, nach welcher sie rotieren, wie es bei den den Strahl EH zusammensetzenden der Fall ist, so bewirken sie, dass dessen rotierende Bewegung langsamer wie die geradlinige wird, und das Gegenteil tritt ein, wenn sie den nämlichen mit der entgegengesetzten begegnen, wie es mit denen der Fall ist, welche den Radius DF zusammensetzen«.

Nachdem sich Cartesius nun abgemüht hat, durch genauere Betrachtung der Teilchen und ihrer Nachbarn seine Anschauung klarer zu machen, fährt er fort[2]): »Und nach meiner Meinung ist es nach alle diesem klar, dass die Natur der Farben, welche in F auftreten, nur darin besteht, dass die Teilchen der feinen Materie, welche die Lichtwirkung übertragen, mit größerer Heftigkeit und Gewalt zu rotieren, als sich geradlinig zu bewegen gezwungen werden, so dass die, welche sehr kräftig rotieren, die rote Farbe hervorrufen, die etwas weniger kräftig, die gelbe. Dass dagegen die Natur derjenigen, welche in H erscheinen, nur darin besteht, dass diese Teilchen nicht so rasch rotieren, da eine solche Bewegungsursache für sie

1) Cartesius, a. a. O. S. 216. 2) Cartesius, a. a. O. S. 218.

nicht besteht, so dass Grün erscheint, wo sie nicht viel langsamer als gewöhnlich sich bewegen, und Blau, wo dies der Fall ist; und oft mischt sich den äußersten Stellen dieses Blau eine gewisse rötliche Farbe bei, welche, ihren Glanz ihm mitteilend, es in Violett oder Purpur verwandelt«.

Wenn diese Theorie nun auch die Thatsache der Brechung erklären ließ, so war dies mit dem Auftreten der Farben nicht der Fall, da nicht abzusehen ist, wie an der brechenden Fläche die Rotationsgeschwindigkeit der Kugeln sich in verschiedener Weise ändern soll. Man muss solche von verschiedener Geschwindigkeit als von vornherein gegeben ansehen, und so folgt unmittelbar aus der Ansicht des Cartesius, dass das weiße Licht aus Licht von allen Farben besteht, die Farbe aber nur durch die Rotationsgeschwindigkeit der Teilchen bestimmt wird. Doch hat Cartesius diese Folgerung noch nicht gezogen.

Wir sind auf die Farbenlehre des großen Philosophen etwas ausführlicher eingegangen, da sie, meist unberücksichtigt geblieben, doch aber geeignet ist, Newtons Leistungen auf dem nämlichen Gebiete auf das richtige Maß zurückzuführen. Den Versuch, den Gang der Lichtstrahlen im Wassertropfen mit Hilfe einer kugeligen Flasche experimentell zu zeigen, konnte Cartesius bereits von seinen Vorgängern entlehnen.

Auch über den Magnetismus hat Cartesius mancherlei Versuche gemacht, und scheint der erste gewesen zu sein, welcher die magnetischen Kraftlinien mittels Eisenfeilspänen darstellte. Er senkte einen oder zwei sphärische Magnete O und P (Fig. 122) bis zur Mitte in eine Ebene und streute auf diese die Späne. Die Figur stellt die entstehenden Linien ziemlich richtig dar, wenn A und a die Südpole, B und b die Nordpole oder umgekehrt sind. Weiter verfolgt hat Cartesius die Erscheinungen nicht, wohl aber eine Bestätigung seiner Wirbeltheorie in ihrem Auftreten erblickt[1].

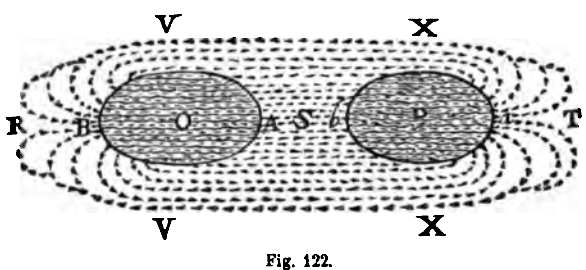


Fig. 122.

Der Vollständigkeit wegen muss hier auch noch der Cartesianische Taucher angeführt werden, der weit über ein gewöhnliches Spielzeug hinaus geht, da durch seine Bewegungen mehrere Gesetze aus der Lehre von den Flüssigkeiten demonstriert werden können.

1) Cartesius, a. a. S. 207.

Guericke und Boyle.

1. Die Luftpumpe und die mit ihr anzustellenden Versuche.

Während Galilei und Cartesius bei ihren Arbeiten von theoretischen Gesichtspunkten ausgingen und den Versuch nur zur Prüfung von deren Richtigkeit heranzogen, schlugen Otto von Guericke (1602—1686) und Robert Boyle (1626—1691) den umgekehrten Weg ein, aus den Ergebnissen ihrer Versuche suchten sie zur Kenntnis allgemeiner Gesetze zu gelangen. Von Guericke gilt dies freilich nicht ohne Einschränkung. Er hatte sich eine bestimmte Vorstellung von den Welt- oder Naturkräften gemacht, die ihn hinderte immer vorurteilsfrei zu verfahren. Bei seinen Versuchen mit der Luftpumpe ließ er sich freilich durch solche vorgefassten Meinungen nicht beirren, sondern stellte unbekümmert darum eine Reihe von äußerst fruchtbaren Versuchen an, welche ihn zu einer Fülle der schönsten Entdeckungen führten. Indem er aber den freien Blick bei seinen elektrischen Versuchen sich nicht bewahrte, gelang es ihm nicht, die Schlüsse, welche nahe genug lagen, daraus zu ziehen. Und doch waren sie so einleuchtend, dass andere nach ihm ohne Mühe darauf kamen.

Die Beschreibungen und Abbildungen, die Guericke von seinen Apparaten und Versuchen giebt, sind so eingehend und ausführlich, dass sie uns, mehr wie alle anderen, einen Blick in den Stand der Experimentierkunst seiner Zeit zu geben geeignet sind. Der Plan, den er bei seinen Versuchen mit der Luftpumpe verfolgte, war auch eigenartig genug. Betrachtet man oberflächlich den Titel seiner sie schildernden Schrift[1]), so sollte man glauben, dass sie nur diese Versuche enthielte; sie werden durch den Druck so hervorgehoben, dass sie allein in die Augen fallen. Sieht man näher zu, so findet man in viel kleinerem Druck bemerkt, dass sie auch vom Gewicht der die Erde umgebenden Luft, den Weltkräften und dem Weltsystem handeln. Diese Untersuchungen führten aber erst Guericke zu seinen neuen Magdeburger Experimenten. Um über die Bewegung der Gestirne zur Klarheit zu gelangen, war es ja nötig die Beschaffenheit des Raumes, in dem sie sich bewegen, zu untersuchen. Er unterscheidet sich von dem uns zugänglichen dadurch, dass er weder Luft noch sonst einen Stoff enthält. Will man also seine Eigenschaften auf der Erde untersuchen, so hat man nur aus einem mit einem Stoffe gefüllten Gefäße, z. B. einem Fasse voll Wasser, diesen Stoff herauszunehmen, das Wasser aus dem Fasse herauszupumpen.

Behält man im Auge, dass Guericke seine Versuche bereits um die Mitte des 17. Jahrhunderts ausführte, so muss man anerkennen, dass er in ihnen ein Muster aufstellte, welches zu seiner Zeit einzig in seiner Art dastand. Mit den einfachsten Apparaten beginnend, verbesserte er sie mehr

1) Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio. Amstelodami 1672. Die Versuche mit der Luftpumpe übersetzt von Dannemann in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Nr. 59. Leipzig 1894.

und mehr und seine Untersuchungen lassen an Vollständigkeit nichts zu wünschen übrig. Wenn es ihm trotzdem nicht gelang, einen einigermaßen vollständig luftleeren Raum herzustellen, so findet dies eine ausreichende Erklärung in dem Zustande der Technik seiner Zeit. Die Kriegsnöte, die seine Vaterstadt Magdeburg besonders hart trafen, waren nicht geeignet, dass sich die mechanische Kunst entwickeln konnte.

Die Geräte, mit denen Guericke seine Arbeiten begann, waren die denkbar einfachsten. Fig. 123 giebt einen Begriff davon. Ein gewöhnliches Fass wurde auf einem Dreifuß aufgestellt und an dasselbe mittels des mit vier Flantschen für Befestigungsschrauben versehenen Ringes *e*, der besonders dargestellt ist, »eine Messingen Feuersprutz«, also ein Pumpcylinder



Fig. 123.

befestigt. Ein Kegelventil oder Stift *b*, dessen Sitz *a* ist, verhinderte, dass das ausgepumpte Wasser wieder zurücktreten konnte, wenn es hinter den genau schließenden Kolben *g*, dessen Stange *f* oder *c* ist, in den Stiefel getreten war. Vor dem Hinunterstoßen des Kolbens wurde der Stift *b* herausgenommen und so dem Wasser der Austritt ermöglicht.

Der erste mit diesem so eingerichtetem Fass angestellte Versuch misslang, da die Schrauben, die den Pumpcylinder befestigten, nicht hielten. Nachdem sie durch stärkere ersetzt waren, gelang es zwar den Pumpenden, das Wasser aus dem Fass zu werfen, aber man hörte sogleich das Pfeifen der durch die Poren der Fassdauben eintretenden Luft. Nicht viel besser stellte sich das Ergebnis, als unser Forscher ein kleineres Fass in ein größeres setzte und das in ersteres gegossene Wasser auspumpte. Das dem Zwitschern eines Vogels ähnliche Geräusch stellte sich wieder ein, hielt freilich mehrere Tage an. Als es aufhörte, enthielt das innere Fass doch

wieder Luft und Wasser. Das überzeugte Guericke, dass es unmöglich sei, in einem hölzernen Gefäß einen leeren Raum herzustellen. Er ersetzte die Fässer demnach durch eine oben mit einem Hahn versehene kupferne Kugel, und brachte in der aus Fig. 124 ersichtlichen Weise an sie den Pumpcylinder an. Anfangs ging alles nach Wunsch. Plötzlich aber wurde die Kugel mit einem lauten Knall zusammengepresst, ein Ereignis, welches Guericke später der Wirkung des Luftdruckes zuschrieb. Da der Handwerker bei Herstellung des kupfernen Gefäßes nicht genug darauf geachtet hätte, ihm eine genaue Kugelform zu geben, so sei diese Wirkung unvermeidlich gewesen. Dabei ist auffallend, dass Guericke nur vermutungsweise ausspricht, dass an der Kugel flache Stellen gewesen seien, aber uns nicht



Fig. 124.

versichert, dass er solche auch gesehen habe. Die Beschreibung seiner Versuche ließ er zwanzig Jahre nach deren Ausführung drucken, in der Zwischenzeit hatte er Torricellis Versuch kennen gelernt. Es erscheint somit nicht sicher, ob er gleich von vornherein die richtige Vorstellung vom Luftdruck hatte, war das aber nicht der Fall, so musste ihn das Misslingen dieses Versuches darauf führen. Er teilt dann mit, dass er nunmehr eine andere Luftpumpe gebaut habe, ohne jedoch anzugeben, wann dies geschah.

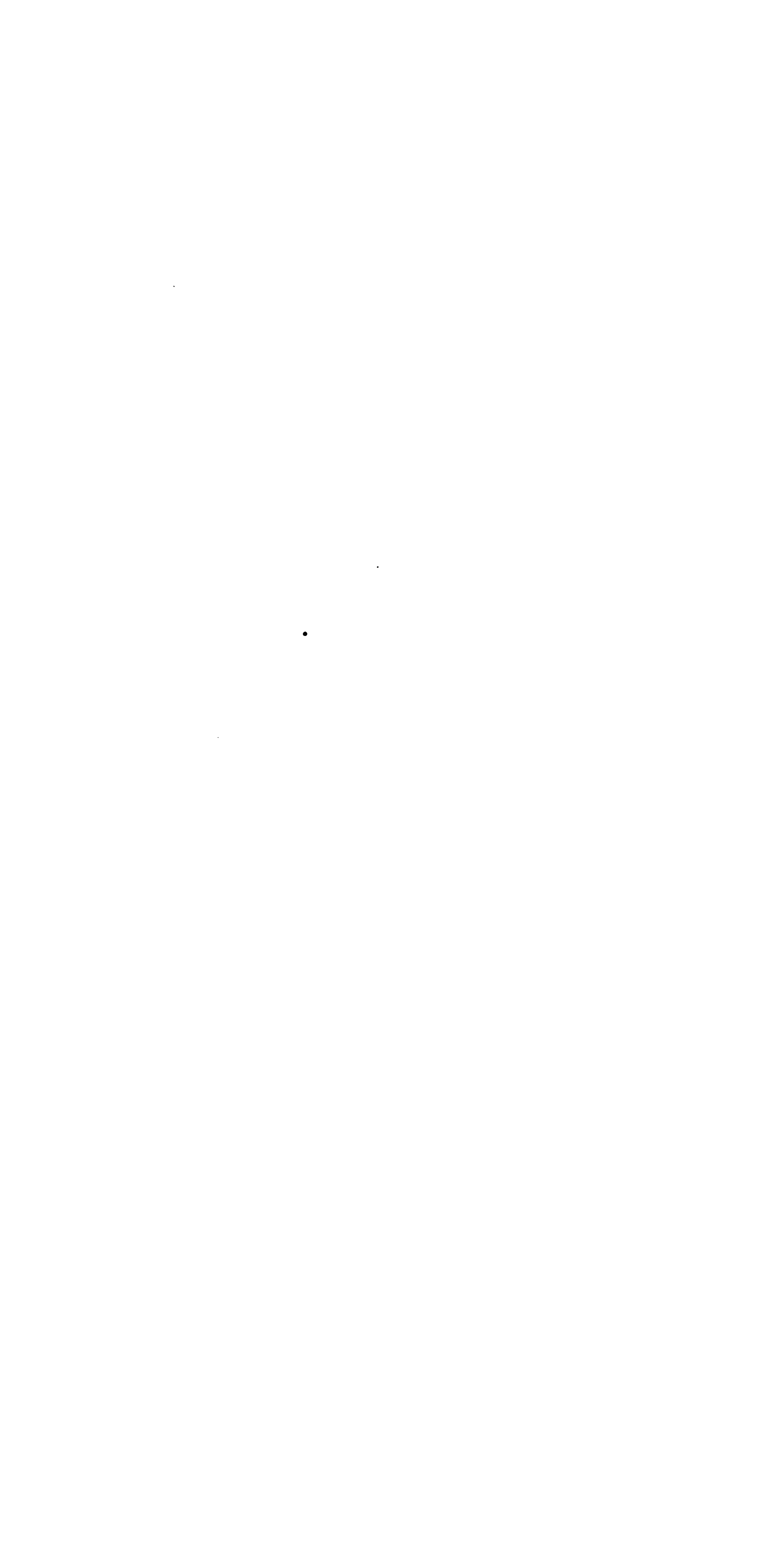
Die neue Luftpumpe führte er 1654 den auf dem Reichstage in Regensburg versammelten Fürsten vor und erregte mit den Versuchen, die er damit anstellte, ungeteilte Bewunderung. Über das Jahr ihrer Herstellung lässt sich also nur angeben, dass es ein früheres, als 1654 gewesen sein muss, denn eine Nachricht aus dem Jahre 1799, Guericke habe bereits

1641 eine Luftpumpe der Stadt Köln zum Geschenk gemacht[1]), ist zu wenig beglaubigt, als dass sie in Betracht kommen könnte. Die Luftpumpe selbst überließ er dem Bischof von Würzburg, der auch Erzbischof von Mainz war und dieser ließ die Experimente durch den Würzburger Professor, den Jesuiten Caspar Schott (1608—1666), wiederholen. Mit Einwilligung Guerickes beschrieb dann Schott in seiner 1657 in Würzburg erschienenen Mechanica Hydraulica-Pneumatica den neuen Apparat und seine Verwendung, während Guericke sein Werk über die Luftpumpe erst 1663 vollendete und 1686 in den Druck gab. Es ist dies das obenerwähnte; in ihm bildet er eine verbesserte Luftpumpe ab, mit der er die meisten der darin gleichfalls vorgeführten Versuche anstellte. Ein wie großes Aufsehen nun auch viele davon erregten, den meisten Ruhm brachte ihm doch das Experiment mit den »Magdeburger Halbkugeln« ein, welches er bereits in Regensburg machte. Er legte zwei mit den Rändern aufeinander gepasste Halbkugeln aus Bronze, *A* und *B*, Fig. 125, von beiläufig 55 cm Durchmesser, von denen die eine mit einer durch einen Hahn verschließbaren Öffnung versehen war, aufeinander, pumpte die Luft aus und zeigte, dass die Kraft von 16 Pferden nicht ausreichte, sie dann auseinander zu ziehen, während dies keine Schwierigkeit machte, wenn er durch Öffnen des Hahnes die Luft wieder eingelassen hatte. Mit Hilfe des zwischen der geöffnet und der geschlossen dargestellten Kugel abgebildeten Kegelventils konnte er sie auf der Luftpumpe anbringen. Zum Dichten diente der Lederring *D*, welcher mit dem aus Wachs und Terpentinöl bestehenden Luftpumpenfette durchtränkt wurde.

Schotts Mitteilungen regten Robert Boyle an, den auch von ihm längst gehegten Plan der Herstellung einer Luftpumpe zur Ausführung zu bringen, um so mehr, als ihm Guerickes Apparat verbesserungsbedürftig zu sein schien. »Namentlich«, sagt er in seiner Kritik desselben[2]), »ist die Luftpumpe .... so hergestellt, dass zum Entleeren des Gefäßes zwei kräftige Menschen nötig sind, welche einige Stunden am Joche arbeiten müssen. Dann aber, und das ist ein Fehler von größerem Gewichte, besteht der Rezipient oder das auszuleerende Gefäß aus einer unversehrten Glaskugel, die mit dem Halse verbunden ist, und das hat zur Folge, dass er Gegenständen, mit denen Experimente angestellt werden sollen, den Eintritt verwehrt, weshalb man nur auf einige wenige, außer den vom Autor bereits beobachteten und von Schott erwähnten Phänomene hoffen darf. Um diesen Unvollkommenheiten einigermaßen zu begegnen, zog ich . . . R. Hooke . . . hinsichtlich einer neu auszuführenden Luftpumpe zu Rate, welche nicht lange in Wasser untergetaucht gehalten zu werden

1) Hindenburg, Archiv der reinen und angewandten Mathematik. Leipzig 1799. S. 232.

2) R. Boyle, Nova Experimenta physico-mechanica de Vi Aëris elastica et ejusdem Effectibus, facta maximam partem in Nova Machina Pneumatica. Ed. postrema. Roterodami 1669. (Die erste Ausgabe erschien 1660.) S. 4—6.




MUS XI
Cap. 23 Lib. III
Fig. IV.
Fig. V.
Fig. II.
D



brauchte (was oft ohne Nachteil nicht möglich ist), und leichter behandelt und benutzt werden konnte«.

Nach mehreren vergeblichen Versuchen brachte Boyle die in Fig. 126, S. 134, dargestellte Maschine zu stande, deren untere Teile wohl in dem Bestreben, Raum zu ersparen, im Verhältnis zu den oberen viel zu klein gezeichnet sind. Den ersteren Übelstand beseitigte die das Joch ersetzende Kurbel *7* mit dem Getriebe *a* und der Zahnstange *5*, deren Anwendung auch eine zweckmäßigere Anordnung der einzelnen Teile ermöglichte. Der Stiefel *22* und *33* wurde in senkrechte Lage, die Öffnung nach unten angebracht, er ruhte auf einem genügend starken Dreifuß. Stiefel, Kolben, Zahnstange, Kurbel, Getriebe und Lager sind rechts unten voneinander getrennt gezeichnet. Der Stiefel bestand aus gegossenem Erz, hatte eine Länge von etwa 14 Zoll und einen lichten Durchmesser von fast 3 Zoll. Der Kolben bestand aus 2 Teilen, der eine hatte einen geringeren Durchmesser, wie die lichte Weite des Stiefels erforderte, der andere war eine Hülle von gegerbtem Schuhleder, welche mit vielen Schlägen in den Stiefel getrieben war. Die Zahnstange wurde in den inneren Teil des Kolbens eingeschraubt.

Der Rezipient *A* bestand aus einer Glaskugel, die aus einem ähnlichen Gefäße, wie sie bei den Chemikern im Gebrauche waren, dadurch hergestellt worden war, dass man den Hals bis auf einen kleinen Teil, *B*, mit einem glühenden Eisen abgesprengt hatte. Er fasste etwa zwei Pfund Wasser. In den stehen gebliebenen Hals war ein aus Erz gegossener Ring eingesetzt und sorgfältig verkittet. In ihm befand sich ein zweiter Ring, *FG*, der genau in die kegelförmige Öffnung des ersten passte und in der Mitte in einem ebenso geformten Ansatze die etwa ½ Zoll weite Öffnung *HJ* aufwies. Dahinein war ein messingener Wirbel mit Handgriff, *K*, eingeschliffen, mit einer seitlichen Durchbohrung *8* an seinem unteren Ende, durch welches ein Faden zum Einhängen von Körpern in den Rezipienten gezogen werden konnte. Unten war der letztere durchbohrt; eine aufgekittete Eisenplatte verband ihn mit dem Sitze des Hahnes *TV*. Die von Boyle zuerst angewendete Art der Verkittung der Metalle mit dem Glase war seiner Beschreibung nach die folgende[1]: »Zuerst wurde die Höhlung der Zinnplatte mit geschmolzenem Kitt gefüllt, welcher aus gut zusammengearbeitetem und gemischtem Pech, Harz und Holzasche bestand. Damit das Eindringen der flüssigen Mischung in die Öffnung *Z* des Hahnes *X* verhindert würde, war dessen Bohrung mit einem Kork verschlossen. An den Kork aber war ein Faden befestigt, mit dessen Hilfe er aus der oberen Öffnung des Rezipienten gezogen werden konnte. Nachdem alsdann dies abgekühlt war, wurde der gläserne Hals des Rezipienten mit Kitt bis über den Hahn versehen, wodurch erreicht wurde, dass aller Raum zwischen der Zinnplatte und dem Rezipienten und zwischen der inneren Oberfläche

1) Boyle, a. a. O. S. 10.

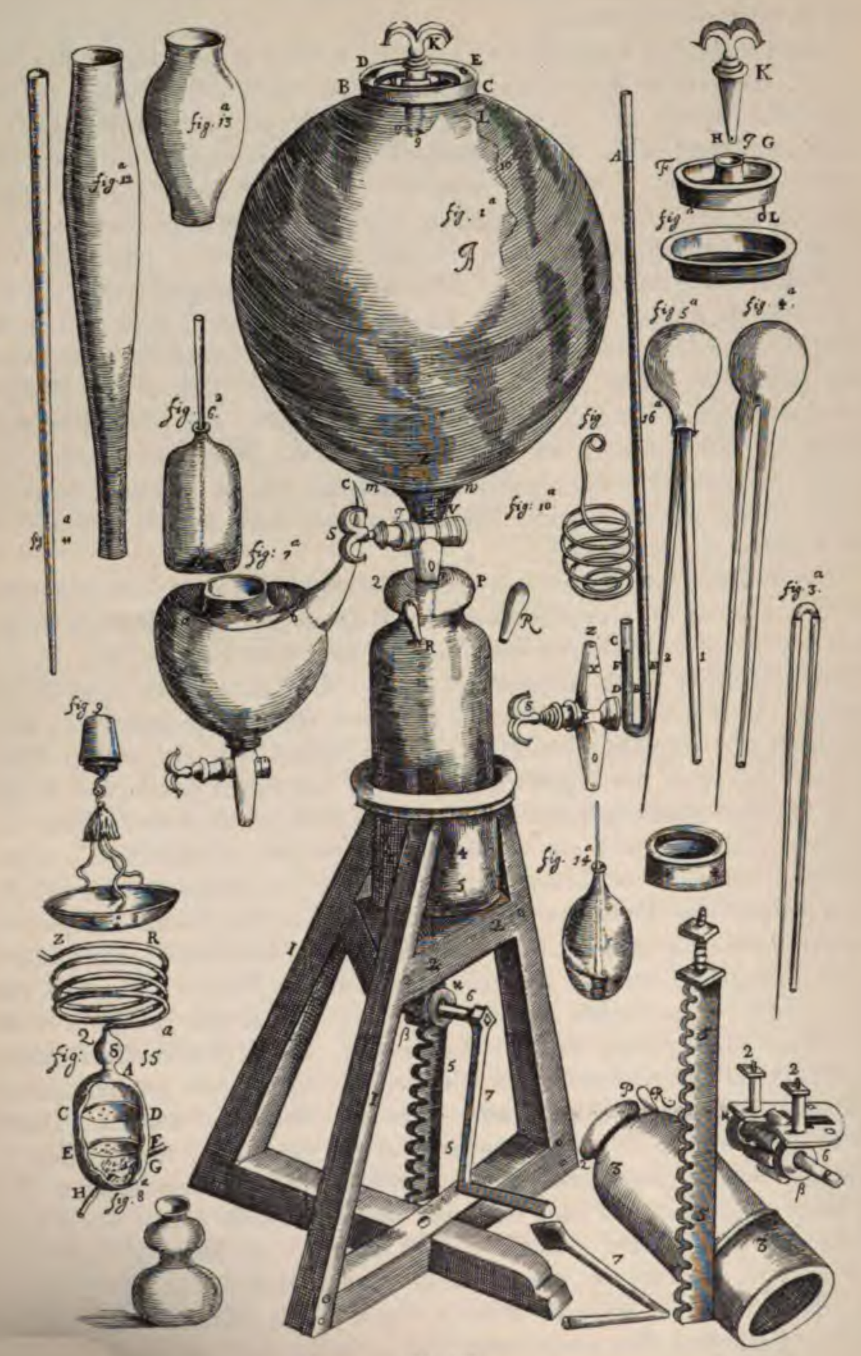

fig. 1a
fig. 3.a
fig 4.a
fig 5a
fig. 6.a
fig: 7a
fig 9
fig: 10a
fig. 13a
fig. 14a
fig: 15
fig. 8
K
D
E
B
C
H
G
F
L
Z
R
A
E
G
H
P

Fig. 126.

des Rezipienten und dem Hahnsitz mit Kitt angefüllt wurde«. Durch die obere Öffnung des Rezipienten wurde dann Öl eingegossen, welches den Hahn und Kolben dichten und leichter beweglich machen sollte. Auch das Ventil wurde geölt. Doch bewegte sich der Kolben leichter im Cylinder, wenn Wasser und Öl, als wenn eine dieser Flüssigkeiten allein angewendet wurde. Mit dem erwähnten Kitt mussten die äußeren Ränder der Ringe bestrichen und mit einem heißen Eisen angeschmolzen werden. Auf die Dauer freilich befriedigte Boyle seine Pumpe nicht und er ging mit dem Plane um, eine horizontale nach dem Muster der Guerickeschen zu bauen, die ganz mit Wasser bedeckt werden sollte[1]).

Die Versuche, die Boyle — und nach ihm andere — mit der Luftpumpe anstellte, waren der mannigfaltigsten Art. Wie man in unseren Tagen die X-Strahlen auf alles wirken lässt, so brachte man damals alle möglichen Dinge in den Rezipienten. Verschiedene Tiere mussten darin ihr Leben lassen, brennende und glühende Körper, welche mittels der Vorrichtungen »Fig. 10a« und »Fig. 15« (Fig. 126) in den Rezipienten gesenkt wurden, verloschen beim Auspumpen, die Wirkung des Magneten und die Bewegung des Pendels schienen unter dem Rezipienten nicht andere zu sein als in der Luft. Als Boyle die Destillationsvorlage »Fig. 7a«, deren seitliches Rohr bei *C* mit Wachs verschlossen worden war, auspumpte, sprang sie längs der Linie *oo* ab, die »Figg. 3, 4 und 5« bewiesen ihm, dass der Heber im luftverdünnten Raume nicht läuft. Mit Hilfe zweier Fläschchen von der in »Fig. 8« gezeichneten Form, wie sie damals zum Aufbewahren von Essenzen dienten, erhielt er die verhältnismäßige Ausdehnung der unter dem Rezipienten mit Wasser abgesperrten Luft. Die Versuche, welche er zu diesem Zwecke anstellte, sind deshalb von Bedeutung, weil man sie später zur Konstruktion von Thermoskopen benutzt hat, auch wohl noch benutzt. Er füllte das eine der beiden Fläschchen so weit mit Quecksilber, dass es in einem Gefäße mit Wasser gerade untertauchte, und verklebte dann die Öffnung mit Wachs, das andere wurde dagegen, die Öffnung nach unten, so weit mit Wasser gefüllt, dass noch eine große Luftblase darüber blieb. Wurde nun die Luft über dem Wasser verdünnt, so stieg das letztgenannte Fläschchen in die Höhe, während das andere in seiner Lage beharrte.

Eine Reihe seiner anderen Versuche gehören auch heute noch zum eisernen Bestande unserer Vorlesungsversuche. Die Ausdehnung der im Rezipienten befindlichen Luft zeigte Boyle, indem er eine geschmeidig gemachte, zur Hälfte mit Luft gefüllte und gut zugebundene Lammblase unter den Rezipienten brachte, zu welchem Zwecke de Roberval (1602—1675) eine Fischblase benutzte. Das Gewicht der Luft suchte er, welchen Weg auch Guericke bereits eingeschlagen hatte, dadurch zu bestimmen, dass er eine Glaskugel zuerst in mit Luft gefülltem und dann ausgepumptem Zustande wog. Wurden die Glaskugeln, sobald sie aus dem

1) Huygens, Oeuvres complètes. III. S. 439.

Glasofen kamen, zugeschmolzen, so erwies sich ihr Gewicht noch geringer, als wenn sie mittels der Luftpumpe entleert waren. Solche Kugeln hielt deshalb Boyle für luftleer. Er machte auch den Versuch, den man vielfach Gay Lussac zuschreibt, dass er an dem Balken einer kleinen Wage die halb mit Luft gefüllte Lammblase, später ein luftdicht verschlossenes eiförmiges Glasgefäß durch ein Bleigewicht äquilibrierte und unter dem Rezipienten dieses steigen sah. Auch in freier Luft stellte er einen solchen Apparat auf und verglich seine Bewegung mit den Schwankungen des Barometers[1]).

Brachte er Wasser in den Rezipienten, so sah er beim Pumpen Blasen daraus aufsteigen und schloss daraus, dass es in Luft verwandelt werden könne. Dieser Versuch führte ihn freilich ebensowenig wie die Vergleichung eines in Form eines abgekürzten Gefäßbarometers hergestellten Quecksilbermanometers mit einem ebenso eingerichteten Wasserbarometer auf die Ansicht, dass das Wasser verdampfe, obwohl er uns beweist, dass er mit seiner Pumpe eine Verdünnung von 1 Zoll Quecksilberdruck erreichte. Auch die Ausdehnung der Luft maß er mittels eines U-förmig gebogenen Glasrohres, dessen eines Ende offen, das andere zu einer Kugel aufgeblasen war. Die in »Fig. 6« und »Fig. 14« dargestellten Apparate benutzte er jedoch auch als Thermometer[2]). Das spezifische Gewicht des Quecksilbers bestimmte er mit Hilfe des in »Fig. 16« dargestellten Apparates. Er fand es zu $13\frac{92}{121}$, und daraus die Dichtigkeit der Luft zu $\frac{1}{938}$ von der des Wassers, während Mersenne (1588—1648) gefunden zu haben glaubte, dass dieser Wert $\frac{1}{1300}$ nicht überschreite.

Bei der Konstruktion seiner zweiten Luftpumpe[3]), mit welcher, wie wir sahen, Guericke bereits 1663 zustande gekommen war, hat er Boyles Kritik wohl benutzt. Ihr Bild giebt Fig. 127. Wie die Boylesche ruht sie auf einem Dreifuß $abcdf$, der den senkrecht gestellten Stiefel sg trägt. Über diesem ist der Rezipient L aufgestellt, eine »viertel oder halbe Vorlage«, wie sie im Arzneihandel gebraucht wurde, an deren Halse »vermittelst einer klebenden Substanz, welche die Goldarbeiter Kitt nennen«, eine Messingkapsel angesetzt war. Sie hatte die Form einer Büchse und in sie konnte der Hahn q, »Fig. VII«, eingesetzt werden, dessen kegelförmiges unteres Ende dann wieder in die Öffnung n im Deckel des Stiefels gesteckt wurde. Sollten größere Gegenstände in den Rezipienten gebracht werden, so musste man den Hahn erst herausnehmen. Den Stiefel stellt »Fig. III« besonders dar. Oben ist er, der besseren Dichtung wegen, mit einem Bleiringe umgeben, auf den der Messingdeckel »Fig. IV« mit dem kegelförmigen Ansatze mn geschraubt wird. Im Deckel wird eine Öffnung durch das Lederventil z verschlossen, welches dem

1) Boyle, Philos. Transact. 166[illegible] 4. S. [illegible]

2) R. Boyle, Defensio doctrin[illegible] Aëris adversus objectiones Francisci Lini. Ed. postrem[illegible]

3) Guericke, Experimenta no[illegible]

Ventile *dd* in Fig. 123 gleich gebildet ist und durch eine Metallfeder angedrückt wird. Diese Einrichtung erleichtert das anfängliche Pumpen sehr. Ist aber die Luft so weit verdünnt, dass sie das Ventil zu heben nicht mehr im stande ist, so muss, wenn sie aus dem Stiefel entweichen soll, der Stift *m* in der bisher gewohnten Weise herausgezogen werden. Mittels des eisernen Ringes *bc*, »Fig. II«, wird der Stiefel an den Dreifuß

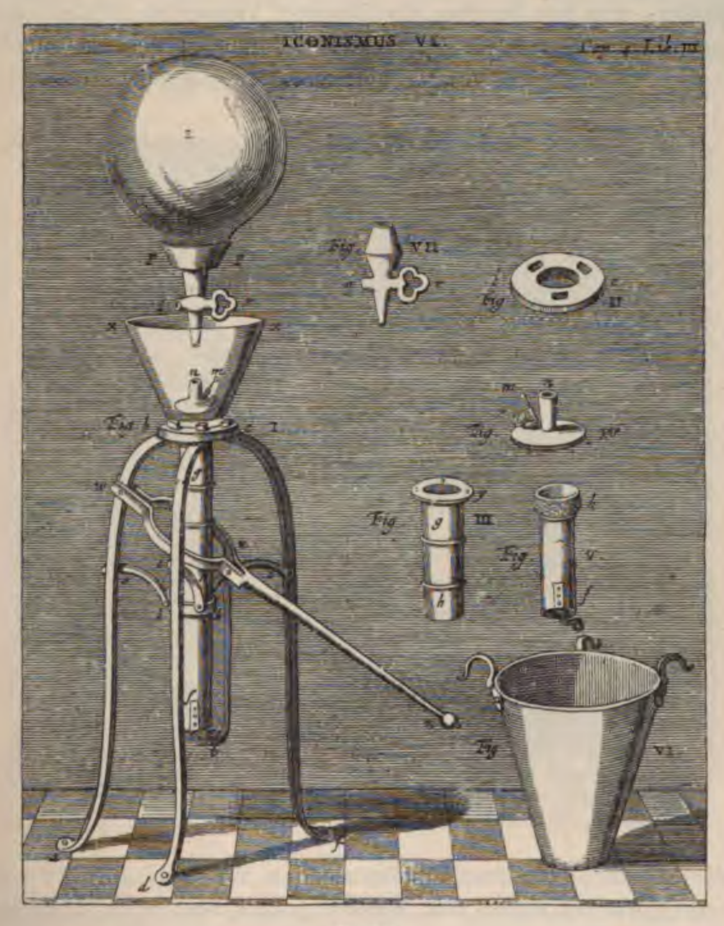


Fig. 127.

angeschraubt. Der Kolben »Fig. V« ist ein massiver Holzcylinder, dessen Dichtung durch ein umwundenes Seil hergestellt gewesen zu sein scheint. f den Bleiring *bc* konnte ein trichterförmiges Gefäß zur Aufnahme von er gesetzt werden, welches die Dichtung des Rezipient und Stiefel enden Hahnes vollkommen machen sollte. Um denselben Zweck olben zu erreichen, wurde der kupferne Eimer »Fig. VI« mit Hilfe aken an die Streben *ooo* des Dreifußes gehängt und mit Wasser

gefüllt. Um das aber zu ermöglichen, war die Kolbenstange nach oben gebogen und hier am Hebel *uu* mittels eines Gelenkes befestigt; ein zweites Gelenk verband sie mit dem unteren Ende des Kolbens.

Diese Luftpumpe trat der Boyleschen ebenbürtig an die Seite und scheint ihr sogar überlegen gewesen zu sein, da Boyle ja später mit dem Gedanken umging, bei seiner Luftpumpe die Wasserdichtung nachträglich anzubringen. Den Grad der Verdünnung in Höhen einer Quecksilbersäule auszudrücken, wie das bei den Boyleschen Versuchen möglich war, gestatten uns die von Guericke hinterlassenen Versuchsergebnisse nicht. Dass er aber auch eine starke Verdünnung erreichte, beweist der in Fig. 128

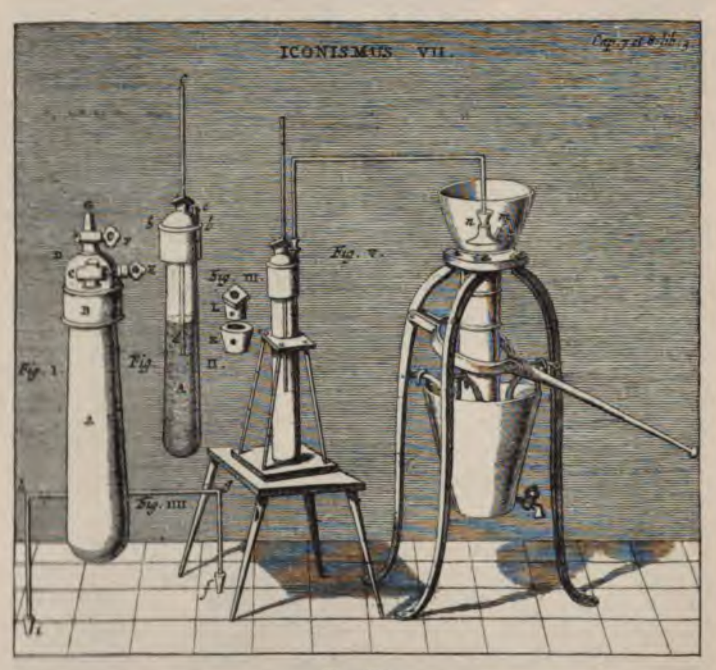


Fig. 128.

dargestellte Versuch, der zum erstenmale den Wasserhammer vorführte. Wenn Guericke das Gefäß mit Wasser gefüllt und über demselben die Luft ausgepumpt hatte, so beobachtete er, dass das Wasser mit hellem Klang gegen das Glas oder auch die auseinander gerissenen Wasserteilchen mit einem solchen gegeneinander schlugen. Dabei sah er freilich immer ein Bläschen an der Stelle des Zusammenschl gens, das er nicht, wie einige seiner Gegner, für Luft zu halten geneigt
nicht klar wurde. Da man dam
r Luft hielt, so konnte ihm
ensowenig wie die einer weit
iftbläschen in Wasser, welche

nicht mehr auftraten, sobald er die Luft ausgepumpt hatte, dass sie aber jedesmal wieder erschienen, wenn man neues Wasser, welches mit der Luft in Berührung gewesen war, jenem zufügte.

So wusste er denn auch die Nebel, welche er in einem mit Luft gefüllten Glaskolben entstehen sah, als er ihn mit dem leer gepumpten Rezipienten der Luftpumpe durch einen Hahn in Verbindung setzte und die Luft des Glaskolbens durch Öffnen des Hahnes in dem Rezipienten sich ausdehnen ließ, nur dadurch zu erklären, dass diese plötzliche Ausdehnung der Luft die im Glaskolben zurückbleibende verändere und vermindere, dass dabei aber die Luft im Glaskolben ihre Feuchtigkeit abgebe, weil



Fig. 129.

eine größere Menge Luft mehr Feuchtigkeit enthalten könne. So wenig uns diese Erklärung befriedigt, so wusste, wie wir sehen werden, noch 10 Jahre nach Erscheinen der Experimenta nova Huygens gelegentlich einer Beobachtung desselben Vorganges im großen nichts Besseres zu seiner Erklärung anzugeben. Tauchte Guericke den Hahn vorher in Wasser, die Nebelbildung stärker. Nach einiger Zeit verloren sich die 'elche in der Sonne die Farben des Regenbogens beobachten ließen. 'en Versuch mit den Halbkugeln verfolgte Guericke mit seiner ıumpe weiter. Es glückte ihm freilich nicht, sie mit einem :hte, welches an einen mit den Kugeln verbundenen Strick

befestigt und dann fallen gelassen wurde, die Kugeln zu trennen. Dagegen gelang es, zwei kleinere Halbkugeln, *A* und *B* Fig. 129 S. 139, mittels einer an die untere gehängte Wagschale auseinander zu reißen, nachdem die Wagschale genügend mit Gewichten belastet war. Den Gewichtsverlust einer Kugel, aus der er einen Teil der in ihr enthaltenen Luft in ein luftleer gemachtes Gefäß hatte strömen lassen (Fig. 130), bestimmte er durch Wägung der Kugel vor und nach dem Versuche. Ließ er die möglichst luftleer gemachte Kugel an der Wage hängen und brachte sie durch Gewichte am anderen Wagebalken ins Gleichgewicht, so konnte er auch die Schwankungen des Luftdruckes beobachten. Der unter dem viereckigen,

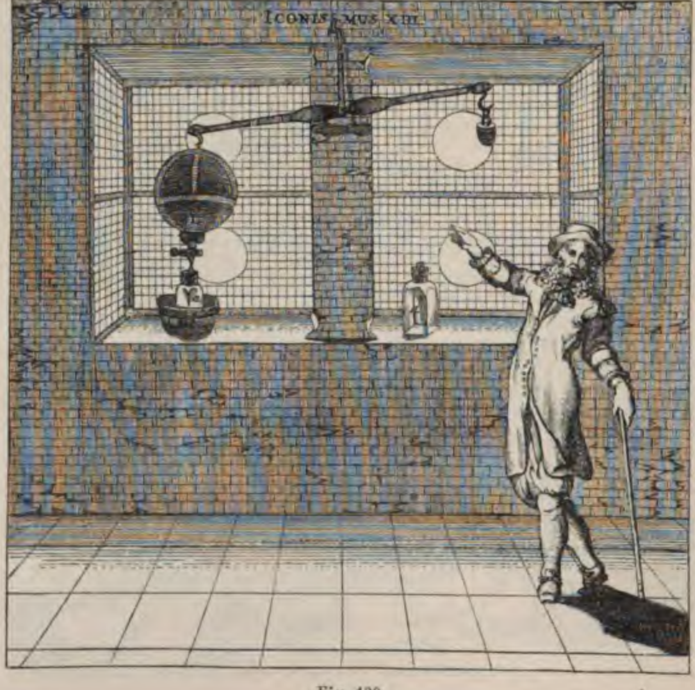


Fig. 130.

luftleer gemachten Glasgefäße *a* angebrachte Topf, Fig. 130, sollte verhindern, dass das Glasgefäß, wenn es beim Öffnen des Hahnes springen sollte, jemand verletzte. Eine derartige unliebsame Erfahrung hatte auf diese Vorsichtsmaßregel hingeleitet. Aus dem Umstande, dass Guericke sich vielfach begnügte, durch einen solchen tragbaren Rezipienten die erstrebte ·erdünnung zu erreichen, erhellt, dass er nicht allzu hohe Anforderungen Hinsicht stellte.

rsuch zur Bestimmur· ·htes der L· er schon in ausführte, w· ·eit fre· ber-
So kon·

nicht bewogen werden, des Experimentators Behauptung Glauben zu schenken, dass ein Mensch, der seinen Atem in die Flasche *a* bliese, gleichzeitig seinen Geist aushauchen müsse. Der Fürst wollte deshalb erst mit eigenen Augen sehen, was mit der Flasche geschehen sei; auch kam, wie Guericke berichtet[1]), ein anderes hinzu, was seine Ergebnisse als unsicher in Zweifel ziehen ließ. Was es war, erzählt er zwar nicht, immerhin suchte er in anderer Weise darzuthun, dass dieses Glasgefäß zwanzig, ja wenn man wolle, hundert Männer bezwingen und niederstrecken könne. Das bewog ihn, den in Fig. 131 dargestellten Versuch zu machen. Er befestigte einen



Fig. 131.

kupfernen Cylinder *a* durch den Bügel *S* und den Dorn *W* an ein Balkengerüst *J*, an welches unten ein durch den Hahn *X* verschließbares Rohr angesetzt war, während es durch den Kolben *R* abgeschlossen werden konnte. Ihn bildete das starke, mit einer Rille versehene cylindrische Brett *R*, welches mittels des Holzcylinders *Q* und der Eisenstange *P* an einem über eine Rolle gelegten Stricke befestigt worden war. Gedichtet wurde der Kolben durch Leinen oder Werg, welches in die Rille gelegt [wur]de. An den Strick waren Seile gebunden, und an sie griff eine [Zah]l kräftiger Männer an. Brachte man nun den leer gepumpten

[1]) Guericke, Experimenta nova. S. 109.

Rezipienten durch den Hahn X mit dem Cylinder in Verbindung, so wurde der Kolben mit solcher Gewalt in den Cylinder gepresst, dass es der gesammten Kraft der die Seile Haltenden nicht möglich war, ihn in seiner Bewegung zu hemmen.

Eigentlich nur eine Spielerei war der in Fig. 132 dargestellte Apparat, den wir nicht erwähnen würden, wenn nicht Guericke durch ihn auf einige



Fig. 132.

[illegible] gebracht worden wäre, wenn nicht gerade ihn die Luft[illegible] angestaunt hätten. Ihn bilden zwei in gewohnter in die[illegible] Rezipi[illegible] durch das weite, den Hahn [illegible]

Der [illegible] ander in Ver- Regensbu[illegible] en durch- zeugend [illegible] er enge

Öffnungen besitzen. Zwei von ihnen, f und g, sind mit zwei im Winkel gebogenen Ansätzen versehen, in welche eine Röhre p angesetzt werden kann. Sie taucht in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, und es kann also mit ihrer Hilfe Wasser nach eq hereingebracht oder herausgezogen werden. In das untere Gefäß wird nun etwas Wasser gegossen, dann werden beide Gefäße mit Hilfe des kupfernen Rezipienten der Luftpumpe evakuiert. Öffnet man nun die vier Hähne ein wenig, so tritt mit »angenehmen Ton« Luft durch das Wasser langsam ein Bringt man das Rohr p an, so kann man durch Öffnen des Hahnes f das ganze Gefäß mit Wasser füllen und dieses durch Öffnen von d in das obere Gefäß treten lassen, in welches es mit einer Gewalt eintritt, die dem Apparate gefährlich werden kann. Durch das Röhrchen u kann dies Wasser wieder abgelassen werden. Indem nun Guericke das Rohr p verlängerte, selbst in solchem Maße, dass das Wassergefäß im Hofe, der Apparat mit den beiden Rezipienten im dritten Stockwerk seines Hauses stand, sah er das Wasser immer noch nach eq steigen. Es gelangte aber nicht mehr dahin, als die Rezipienten ins vierte Stockwerk gebracht worden waren. Um trotzdem die Höhe messen zu können, bis zu welcher das Wasser im Rohre p stieg, ersetzte er dieses durch ein Glasrohr und beobachtete nun, dass die Höhe, bis zu der das Wasser gestiegen war, sich sehr oft änderte. Daraus schloss er, dass die Ursache des Abscheues der Luft vor dem leeren Raume der Druck der Atmosphäre sei. Wir wissen leider nicht, wann Guericke diese Versuche anstellte, ob, was allein von Wichtigkeit sein würde, vor oder nach dem Reichstage zu Regensburg, weil er dort den Torricellischen Versuch kennen lernte[1]). In Anbetracht seiner streng logischen, aus den eigenen Versuchen gezogenen Schlüsse möchte man geneigt sein, das erstere anzunehmen.

Dafür würde auch die Eigenartigkeit des Apparates, auf dessen Konstruktion den Magdeburger Bürgermeister der geschilderte Versuch führte, und den Fig. 133, S. 144, zeigt, sprechen. Man sieht ihn im Hintergrunde in »Fig. II« so zusammengestellt, wie ihn Guericke an seinem Hause angebracht hatte, in der Mitte »Fig. I« erblickt man die ihn zusammensetzenden Röhrenstücke, und vorn links in »Fig. IV« den oberen Teil des Apparates. Wohl um anzudeuten, dass er dazu dienen sollte, die Schwankungen des Luftdruckes beobachten zu lassen, ist unten in der Mitte in »Fig. III« der am Wagebalken hängende ausgepumpte Rezipient abgebildet. Der Apparat wurde so zusammengesetzt, dass zunächst das untere Röhrenstück mit geschlossenem Hahn, b, aufgestellt und mit Wasser gefüllt wurde. Ihm wurden die übrigen Röhrenstücke aufgesetzt und in sie Wasser gegossen, [illegible]t das oberste, dessen Hahn l ebenfalls geschlossen war. Dies oberste [illegible]estand aus einem Kolben, in dem eine menschliche hölzerne Figur [illegible] war, deren ausgestreckter Arm auf eine Teilung wies. Wurden

[1]) [illegible]ke, Experimenta nova etc. S. 117.

nunmehr die Hähne *l* und *b* geöffnet, so sank das Wasser unter gewöhnlichen Umständen etwa so weit herab, wie aus »Fig. IV« ersichtlich ist, die Holzfigur aber schwamm aufrecht auf ihrer Oberfläche. Um das Geheimnis nicht zu verraten, umgab Guericke die Rohrleitung mit einer



Fig. 133.

Blechhülle und hatte so den Apparat aufgestellt, mit dem er die rasche Abnahme des Luftdruckes beobachtete, die dem »umgehenden« Sturm von 1660 voranging [1]). Mit Recht macht Guericke darauf aufmerksam, dass

1) Guericke, Experimenta nova etc. S. 100.

dieser Apparat nicht mit dem Thermoskop zu verwechseln sei, »welches durch die Wärme und Kälte verändert wird«.

Ein solches hatte er jedoch auch an der Wand seines Hauses angebracht, aber gleichfalls so verhüllt, dass man von außen seine Einrichtung nicht sehen konnte. Unsere Fig. 134 zeigt es rechts mit weggenommener, links mit aufgesetzter Blechumhüllung. *A* ist eine große Kugel aus Kupferblech, *BCDE* ein kupfernes Rohr, das etwa sieben Ellen herabsteigt und mit *A* verbunden ist. In das letztere wird Weingeist gegossen und darauf das rechts gezeichnete Gefäß *EL* aus dünnem Messingbleche gesetzt, welches insoweit mit Schrot beschwert ist, dass es völlig eingetaucht an der

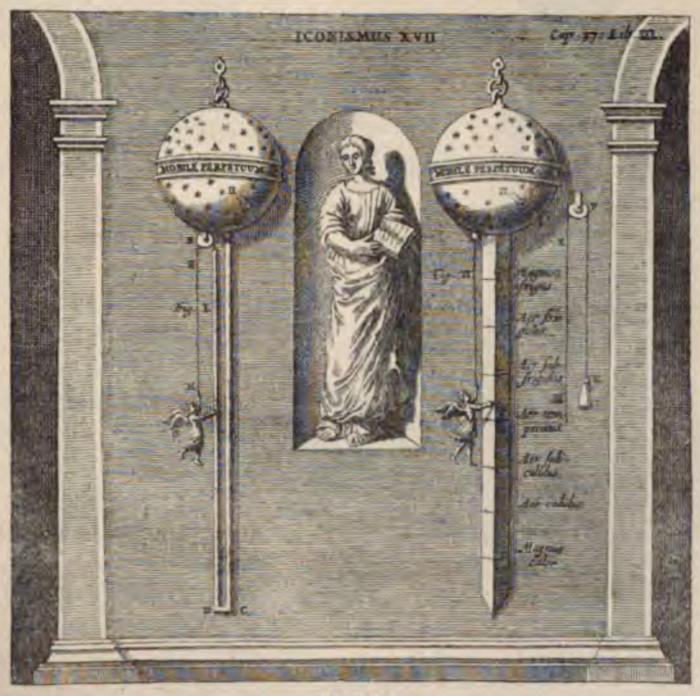


Fig. 134.

Oberfläche des Weingeistes schwimmt. An seinem oberen Ende ist ein gewachster Faden *EE* befestigt, welcher über die Rolle *F* geht und als Gegengewicht des Schwimmers ein Engelsfigürchen mit ausgestrecktem Arme trägt, den Zeiger für die auf der Blechhülle angebrachte Skala. Um die Luftmenge in der Kugel zu regeln, kann durch das Ventil *H* mittels der Luftpumpe etwas Luft herausgenommen werden. Dies geschieht am ten, wenn die reifbringenden Nächte beginnen. Man nimmt dann so uft aus der Kugel heraus, dass sich der Zeiger etwa auf die Mitte la einstellt. Den ganzen Raum, den bei den wechselnden Luftren der Zeiger durchlief, teilte Guericke in willkürlicher Weise ile, die er mit sehr kalt, kalt, mäßige Kälte, temperiert, mäßig

… und sehr warm bezeichnete. Auch wohl um des Geheim-
… gab ihr Erfinder den beiden Apparaten die Aufschrift: »Mobile
… oder »Semper vivum«. Übrigens dachte er auch daran, zu dem
… Zwecke den am Wagebalken schwebenden Rezipienten und zum
… Luftsäule beraubte zugeblasene Glasgefäße zu benutzen, wie
… zu demselben Zwecke vorgeschlagen hatte.

… Luftpumpe Guerickes sind, soweit bekannt, nur noch
… vorhanden. Das eine befand sich früher auf der Bibliothek in Berlin und ist jetzt in die physikalische Sammlung der dortigen Universität übergeführt, das andere ist im Besitze der technischen Hochschule in Braunschweig. Jenes wird zuerst in einem Briefe erwähnt, den 1715 La Croze an Berger schrieb und der 1725 von Hendreich[1]) veröffentlicht ist. Es zeigt in seiner jetzigen Gestalt Fig. 135. Damals befand es sich bereits in der genannten Bibliothek, und durch die Mitteilungen seines Verfertigers sind wir wohl unterrichtet, wie es dorthin gekommen ist. Nachdem er berichtet hat, dass er verschiedene Maschinen … beschrieben seien, erzählt er weiter[2]):
… zu transportieren waren und mein aller-
… der Kurfürst von Brandenburg[3]), mein wohl-
… zu sehen wünschte, [welchen der
… den Magdeburgischen genannt hat], so habe
… hergerichtet«.

… dass der Berliner Apparat der
… und somit das erste Exemplar

…hülle und hatte … Consilium et occasio,
…hme des Luftdru… Epistola
… voranging[1]). Mit … Berol. 1725.
… Wissen-

1) Guericke, Experi… Werk auch

von **Guerickes** zweiter Luftpumpe sein dürfte. Sie selbst, sowie die an dem nämlichen Orte befindlichen großen Halbkugeln sind in allen ihren ursprünglichen Teilen erhalten. Das Braunschweiger Exemplar dagegen, welches aus der Sammlung von **Beireis** stammt, lässt sich nur bis zum Anfange dieses Jahrhunderts zurück verfolgen und gerade die wichtigsten seiner Teile sind offenbar später erneuert [1]).

Als letzter der von unserem Forscher erdachten Apparate, der zu seiner Bethätigung der Luftpumpe bedurfte, ist der in Fig. 136 dargestellte zu erwähnen, ein Werkzeug, das dazu dienen sollte, Geschosse zu schleudern. »Man stelle aus Messingblech«, so beschreibt ihn **Guericke** [2]), »eine Röhre



Fig. 136.

abd von einem Durchmesser her, welcher den Bleikugeln, die man fortzuschleudern wünscht, entspricht. An dem einen Ende wird eine Art Ventil aus Messing [ähnlich dem Ventil, welches in Fig. 123 mit *b* bezeichnet wurde], angebracht, in welches eine lederne Scheibe *k* hineingesteckt werden kann, welche die Öffnung *a* verschließt. Die Röhre besitze auf ihrer unteren Seite bei *a* einen Spalt, welcher einen halben Finger lang und etwa so [illegible] en eines Speisemessers ist. Unter diesem Spalte wird

[illegible] fmanns Bericht. I. S. 37: die Geschichte der Luftpumpe im [illegible] nns Annalen. 1883. XIX. S. 535.
[illegible] r. 59. S. 82 u. 83.

ein engeres Rohr, das von *a* oder *g* bis *b* oder *e* reicht und in den Ansatz oder Kegel *e* ausläuft, mit dem vorerwähnten Kanal *ab* vereinigt. Und zwar muss dieser Blechansatz von solcher Weite sein, dass er den Hahn *c* des Rezipienten *L* genau aufnimmt«. Wird nun der Hahn mit großer Geschwindigkeit einmal herumgedreht, so setzt der Luftdruck das Geschoss mit Heftigkeit in Bewegung, welches, die Lederscheibe wegschlagend, in der Richtung des Rohres aus *a* herausfliegt. Nach Einsetzen neuer Lederscheiben und Bleikugeln kann man den Versuch einigemal wiederholen, doch meint Guericke, dass der Apparat noch sehr verbesserungsfähig sei.

2. Centrifugalmaschine und elektrische Versuche.

Von den bisher geschilderten Experimenten Guerickes unterscheiden sich die nun noch zu beschreibenden insofern sehr zu ihrem Nachteil, als sie von vornherein zum Beweis des Vorhandenseins der von ihm vorausgesetzten Weltkräfte dienen sollten. Ließ er sich demnach bei jenen von der Natur leiten, so versuchte er hier das Gegenteil und hatte denn auch die Nachteile seiner verkehrten Forschungsweise zu tragen.

Das Verständnis der natürlichen Bewegung, als welche Aristoteles die Kreisbewegung betrachtet hatte, im Gegensatz zu der gezwungenen geradlinigen, war durch Benedetti und Cardano angebahnt, aber obwohl es Galilei gelungen war, die parabolische Form der Wurflinie zu erklären, so hatte er diese Erklärung doch nicht auf die Kreisbewegung angewendet. Zwar hat er in seinen Werken[1] eine Maschine abgebildet, die man eine Centrifugalmaschine nennen möchte. Aber sie sollte eine Erscheinung erläutern, die für uns kaum noch ein Interesse hat. Einer von Galileis Gegnern, der Jesuitenpater Grassi (1582—1654), den er im Saggiatore unter dem Pseudonym Sarsi bekämpfte, hatte als Meinung Galileis hingestellt, eine bewegte glatte Oberfläche risse die umgebende Luft nicht mit in ihre Bewegung hinein. Um das Irrtümliche dieser Behauptung darzuthun, hatte dann Grassi die in Fig. 137 dargestellte Maschine hergerichtet und gezeigt, dass das an einem Faden aufgehängte Papierscheibchen *A* der Drehung der polierten Metallschale *J* in der That folge. Galilei erhob nun freilich sogleich Widerspruch gegen die ihm aufgezwungene Ansicht, die eben gar nicht die seine sei. Grassi indessen ließ sich im Weiterexperimentieren nicht stören, doch haben die selbstverständliche Resultate gebenden Abänderungen jenes ersten Versuchs kaum ein Interesse.

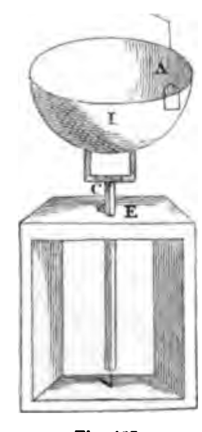


Fig. 137.

1) Galilei, Opere. T. IV. S. 288.

Eher als die Maschine Grassis dürfte ein von Borelli[1]) (1608—1679) zur Erklärung der Bewegung der Planeten angestellter Versuch auf den Namen einer Centrifugalmaschine Anspruch machen, den er vor 1666 ausführte. Er brachte in eine U-förmige Röhre eine Kugel und setzte sie um eine senkrechte, durch ihren tiefsten Punkt gehende Achse in rasche Rotation, die Kugel stieg dann empor und behielt bei einer bestimmten Drehungsgeschwindigkeit eine bestimmte Höhe bei.

In ähnlicher Weise wollte Guericke mittels der in Fig. 138 abgebildeten Maschine das Dasein der »virtus repulsiva« erklären, die freilich auch bereits aus dem daneben dargestellten Versuche mit einer im Kreise geschwungenen an dem bei *b* befestigten Faden gebundenen Bleikugel *a* folge. Die Maschine bestand aus einer Schale von starkem Messing, welcher mittels Räderübersetzung durch eine Kurbel eine rasche Drehung zu erteilen war. Werden Marmorkugeln von verschiedener Größe, wie die, »mit welchen die Knaben zu spielen pflegen, hineingebracht und die Schale in Bewegung gesetzt, so wird man beobachten, wie die größeren sich mehr dem Rande der Schale nähern, die kleineren der Achse näher bleiben. Das ist auch der Grund, warum in einer Mulde bewegte Samenkörner (Mohn- und Hanfsamen, Erbsen u. s. w.) sich nach ihrer Größe trennen lassen. Die solches bewirkende Kraft ist dem Körper, dem sie eingeprägt wird, proportional« und dieser erreicht bei einer gewissen Geschwindigkeit einen bestimmten Abstand von der Umdrehungsachse, wo er »in seiner natürlichen Lage« (naturali sua statione) verbleibt. Wenn somit Guericke sich auch von der Annahme der natürlichen Bewegung noch nicht frei machen kann, so schlägt er doch den richtigen Weg, zum Verständnis der Kreisbewegung zu kommen, ein.



Fig. 138.

Es ist noch übrig, den Apparat Guerickes, den man vielfach als erste Elektrisiermaschine angesprochen hat, zu betrachten. Er bestand[2]) aus einer Schwefelkugel von der Größe eines Kinderkopfes, die hergestellt wurde, indem man einen Glaskolben mit feingestoßenem Schwefel füllte, diesen schmolz und den Kolben nach dem Erkalten zerbrach. Durch die

[1]) Borelli, Theoria mediceorum planetarum ex causis physicis deducta. ae 1666. S. 48. 2) Guericke, Experimenta nova. S. 147.

Kugel wurde dann ein Loch zur Aufnahme einer eisernen Achse gebohrt und diese in dazu angebrachte Schlitze der Stützen *ac* und *bd*, Fig. 139, gelegt. Wurde nun die in ihren Lagern gedrehte Kugel mit der trockenen Hand gerieben, so wurde sie, wie wir sagen würden, elektrisch. Der Apparat besaß also wohl den zu elektrisierenden Teil der Elektrisiermaschine und das Reibzeug, um aber eine solche genannt werden zu können, fehlte ihr der Konduktor. Aus den mit ihm angestellten Versuchen schloß Guericke auf eine anziehende und abstoßende Kraft (virtus conservativa und expulsiva), außerdem auf die Kraft des Tönens, des Warmwerdens und des Leuchtens (virtus soni, calefaciens und lucens), alles in seinem Sinne Weltkräfte. Wie weit entfernt er aber war, die Anziehung und Abstoßung rein physikalisch zu fassen, geht daraus hervor, dass er sie den von Aristarch von Samos der Erde zugeschriebenen analogen Kräften an die Seite stellt. Da der griechische Astronom zur Erklärung jener beiden Kräfte eine Seele der Erde annahm, so sehen wir denselben Forscher, der soviel zur Aufklärung des »Abscheues der Luft vor dem leeren Raum« gethan hat, in der Annahme der Antipathie und Sympathie der Kugel gegen und für ein Federchen und umgekehrt befangen.



Fig. 139.

Trotzdem führten ihn die Versuche zu wichtigen, damals zum Teil ganz neuen Ergebnissen. Legte Guericke unter die Kugel auf das Gestell Schnitzel von Blattgold oder Blattsilber, von Papier u. s. w., so sprangen diese an die geriebene Kugel heran und wurden oft lange Zeit hindurch von ihr festgehalten. Nahm er die Kugel im geriebenen Zustande aus ihren Lagern und führte sie in der Luft umher, so zog sie ein leichtes Federchen erst an, stieß es aber nach der Berührung wieder ab, so dass man es durch geschicktes Handhaben der Kugel an jeden Ort des Zimmers bringen konnte. An die Spitzen von Gegenständen, die sich in ihrer Nähe befanden, flog sie heran, einer brennenden Kerze näherte sie sich etwa auf Handbreite, begab sich aber dann in beiden Fällen eilends zur Kugel zurück, um bei dieser »gleichsam Schutz zu suchen«. In der Nähe der geriebenen Kugel wendet sie dieser, wie der Mond der Erde, stets dieselbe Seite zu, und dieser Versuch scheint Guericke geeignet, das Verhalten unseres Trabanten zu erklären. Zw[illegible] der Kugel und dem ihr entgegengehaltenen Finger fliegt die Fede[illegible]ls hin und her. Hing

Guericke einen Leinenfaden so auf, dass sein Ende sich in der Nähe der Kugel befand, so wich er dem genäherten Finger aus. Befestigte man ihn an einem zugespitzten Stücke Holze und ließ ihn lang herabhängen, so legte sich sein unteres Ende an die in der Nähe befindlichen Gegenstände an, so oft man die geriebene Kugel der Spitze des Holzstückes näherte. Hielt der Experimentator das Ohr in die Nähe der Kugel, so vernahm er ein Rauschen und Knistern in ihr, im dunklen Raume leuchtete sie, wie Zucker, der durchgebrochen wird.

Sieht man das, was Guericke über die virtus calefaciens sagt, nicht genau an, so könnte man zu dem Schlusse kommen, er habe auch den elektrischen Funken zuerst gesehen: »Wie die virtus calefaciens«, sagt er nämlich [1]), »durch starke Reibung in jedem Körper erregt werden kann, so dass, wenn die Hitze sehr groß wird, endlich Feuer entsteht oder herausspringt, so kann man leicht erraten, dass diese virtus calefaciens auch in dieser Kugel durch fortgesetztes und kräftiges Reiben erzeugt werden kann«. Indessen ist mit dieser Bemerkung der elektrische Funken ganz gewiss nicht gemeint, da er ja keineswegs durch Reiben jedes beliebigen Körpers nach dem Stande der damaligen Experimentierkunst erhalten werden konnte. Dass ihn Guericke wirklich nicht beobachtet hat, ergiebt sich aus dem Erstaunen über die briefliche Mitteilung, in der Leibniz ihm über die von der Schwefelkugel zu erhaltenden Funken schreibt. Dieser bedankt sich in demselben Briefe für die Zusendung der Schwefelkugel und Feder, um die er gebeten hatte, Guericke versteht aber, wie seine Antwort beweist, gar nicht, was Leibniz mit den Funken meint[2]).

Wir können es uns nicht versagen, zum Schlusse unserer Mitteilungen über Guericke die Worte hierher zu setzen, mit welchen seiner sein Urenkel, der Regierungsrat von Biedersee, in einem allerdings nur teilweise noch erhaltenen Beitrage zur Geschichte des Herzogtums Magdeburg[3]) 1775 gedenkt. Ist auch die Sachkenntnis nicht groß, über die der Berichterstatter verfügt, und sind die Daten, die er für seines Ahnherrn Erfindungen giebt, ganz unzuverlässig[4]), so haben doch die Familienerinnerungen, die sich über dessen Experimentieren und die dazu aufgewendeten Mittel erhalten haben, ein eigentümliches Interesse. »Otto von Guericke«, lesen wir da. »dessen Haus in der Zerstöhrung von Magdeburg 1631 unbeschädigt geblieben, erhielt vor dasselbige ein Kayserlich salva guardia, welche sich noch 1757 an einem Thor des Hintergebäudes angemahlt fand, sie findet sich gedruckt Vol. in fd. Nro. in diesen Jahren von 1632 bis 1638 hat er die meisten seiner Entdeckungen gemacht. Ich habe ein Astrolabium und Wasserwage, woran er selbst gestochen fait par Otto de Guerike Ingenieur a Magdeburg 1632 und unten: Im Jahre nach

1) Guericke, Experimenta nova. S. 149.
Gerland, Elektrotechnische Zeitschrift 1883. IV. 249.
tbibliothek zu Magdeburg. XII. Folio. Nr. 104. Anhang. S. 13.
land, Wiedemanns Annalen 1883. XIX. S. 538.

derselben kläglichen Zerstöhrung. Die Arbeit zeigt sattsam, dass es nicht die erste seiner Erfindungen gewesen, sowie die Verguldung dieser und anderen damals gemachten Instrumente und Maschinen erweist, dass er etwas daran gewendet, wie dann sein Sohn der Geheimde Rath Otto von Guericke versichert, dass seine Experimente ihn über 20000 Thlr. gekostet hätten. Das Wetter Männichen, welches Mr. de Monconys[1] bey ihm gesehen, ist ein vollkommenes Barometer, aber so prächtig gemacht, dass es nach seinem Tode zu 800 Thlr. taxirt ist, soviel wendet man wohl nicht an den bloßen Zierrath einer Maschine, an deren Erfindung man keinen Antheil hat. Aus der Menge und Verschiedenheit der Glaß-Röhren, die ich in seiner fast 70 Jahre fast immer verschloßen gewesenen Bibliothec gefunden und die größtentheils mit scalen verschiedener Art bezeichnet und bemahlet und zum theil vergoldet waren, kan man wohl abnehmen, daß er selbst experimentirt und nicht bloß imitirt habe. Ao 1646 da Toricellus seine Erfindung publicierte, ward Otto de Guerike in Gesandschaften gebraucht und seine Arbeit bis 1666 in den Angelegenheiten der Stadt war so groß und viel, daß er wohl nicht an sein favoritstudium denken können, folglich ist nicht unwahrscheinlich, dass das Wetter Männichen, so Monconys bey ihm gesehen vor 1646 gemacht [wenigstens erdacht][2] sey. Die scala, so an die Röhre mit Puncten gezeichnet, gleich einer ersten Erfindung, aber die Verziehrung zeigt, wie wichtig ihm diese Erfindung gewesen, 8 große in feuer vergoldete Bleche, haben nach einer von ihm selbst geschriebenen Note 120 Thlr. zu stehen gekostet, und außer diesen ist wohl ein paar Mark Silber an den Gestelle, welches von Eben Holz und mit Marmor und andern Steinen fournirt ist. Die Mißhelligkeit unter seinen 3 Kindern, und ein neuerer Zufall haben seine wichtige Correspondenz und Nachrichten vernichtet. ich habe nur fragmente gefunden. eben daher habe ich auch nur ¼ seiner Maschinen erhalten, doch die wichtigsten. als

1. Die 2 ersten Luft Pumpen[3].
2. 3 große Recipienten und Apparatum zum experimentieren mit der Antlia.
3. Die großen haemisphäria damit er in Gegenwart des Kaysers experimentiert hat[4].
4. Die 2 wettermännchen oder Barometern.
5. Die große Schwefel Kugel zum elektrisiren.
6. Das von ihm selbst verfertigte Astrolabium.
7. Die Maschine dadurch er das Schleudern der Planeten um die Sonne demonstriren wollen.

---

1) Monconys, Journal de voyages. Lyon 1695. 2. Aufl. Deutsch von Junker. 1697.
2) Die in [ ] geschlossenen Worte sind am Rande beigefügt.
3) Vgl. Gerland, Wiedemanns Annalen 1883. XIX. S. 538.
4) [Da]s möchte nicht richtig sein, da G[illegible] [Re]gensburg benutzten [ei]ner eigenen Erzählung [illegible] [illegible]ß.

8. Die Spritze, so ihn zuerst auf den Gedanken des exantlirens gebracht.
9. Einige incomplette Sachen, Stative, Stäbe zum Nivelliren u. s. w.«.

Die Schüler Galileis.

1. Luftdruck und Vakuum.

Während Guericke und Boyle durch geschicktes Experimentieren die unzureichende Ansicht Galileis von der Ursache des Eindringens der Luft in den leeren Raum aufgeklärt hatten, waren des großen Florentiners Schüler in derselben Richtung mit nicht geringerem Erfolge thätig gewesen, ja es war Torricelli noch früher geglückt als den genannten Forschern, den Widerstand der Körper gegen den leeren Raum durch die Annahme des Luftdruckes zu ersetzen. Ob die Erzählung von den Brunnenmachern, die sich vergeblich bemühten, mittels einer Saugpumpe Wasser höher als 10 m hoch zu heben und ebenso vergeblich Galilei um Erklärung des Misslingens baten, wahr ist, wissen wir nicht. Da dieser aber in den Discorsi durch Sagredo den Vorfall als Beispiel anführen und ihn, so gut er dazu im stande war, durch Salviati erklären lässt[1]), so ist sie völlig glaubhaft. Erst Torricelli (1608—1647) führte die genaue Analyse dieser Beobachtung 1642 als den ersten zur Entdeckung des Luftdruckes, und Viviani war es, welcher das von Torricelli erdachte Prüfungsmittel dieser Lehre, das erste Barometer, nach Rücksprache mit dem Erfinder, herstellte. Es ist noch in Florenz vorhanden, unterscheidet sich aber in nichts von den jetzt gebräuchlichen Gefäßbarometern.

Torricellis weitere Arbeiten waren theoretischer Natur, die übrigen Schüler und Anhänger Galileis aber hielten es für ihre Aufgabe, nach des Meisters Tode dessen Lehren experimentell zu beglaubigen. Da dieser das nur in beschränktem Maße gethan, so war ihnen hier ein Arbeitsfeld zugewiesen, durch dessen Bebauung sie ihre Pietät in hervorragender Weise bethätigen konnten. Mit ihnen in Gemeinschaft arbeiteten Galileis fürstliche Schüler aus dem Hause der Mediceer, der Großherzog Fernando II. von Toscana (1610—1670), und sein Bruder Leopoldo von Medici (1617—1675), unter dessen Patronat sie 1657 zu einer Akademie zusammentraten, deren Namen, Accademia del Cimento, ihren Zweck mit aller Schärfe hervortreten ließ. Wer den Plan für die einzelnen Versuche fasste, wer sie ausführte, lässt sich für gewöhnlich nicht feststellen, mehrere der wichtigsten schrieben die Akademiker ihrem Herrn, dem Großherzog, zu. Die Ergebnisse ihrer Untersuchungen wurden 1667 von Magalotti unter dem Titel Saggi di naturali Esperienze fatte nell' Accademia del Cimento

---

1) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 11. 1890. S. 16.

veröffentlicht, 1731 von Pieter van Musschenbroek (1692—1761) in das Lateinische übersetzt und mit Anmerkungen versehen herausgegeben[1]).

Die Saggi enthalten der Reihe nach die Beschreibung einiger Instrumente, welche zur Bestimmung der durch Wärme und Kälte hervorgerufenen Änderungen der Luft dienen; die Beschreibung eines Instrumentes zur Bestimmung des Unterschiedes der Feuchtigkeit in der Luft; die Beschreibung einiger Instrumente, welche zur Messung der Zeit angewendet worden sind; Versuche, welche sich auf den natürlichen Druck der Luft beziehen; Beschreibung von Instrumenten, welche verschiedene, bei natürlicher Höhe des Luftdruckes eintretende Änderungen zeigen; verschiedene, im luftleeren Raume angestellte Versuche; Beschreibung verschiedener Erscheinungen, welche an Tieren, die im luftleeren Raume eingeschlossen sind, beobachtet werden; Versuche über künstliche Eisbildung; Versuche zur Bestimmung der größten Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren; Versuche über den Fortschritt künstlicher Eisbildung und über die dabei auftretenden merkwürdigen Erscheinungen; Versuche über das natürliche Eis; Versuche über eine vor kurzem beobachtete Wirkung der Wärme und Kälte, welche in der Änderung der inneren Kapazität von Metall- und Glasgefäßen besteht; Versuche über die Zusammendrückung des Wassers; Versuche zum Beweise, dass es keine positive Leichtigkeit gebe; Versuche über den Magneten; Versuche mit Ambra und anderen Körpern von elektrischer Kraft; Versuche über einige Farbenänderungen in verschiedenen Flüssigkeiten; Versuche über die Schallbewegung; Versuche über Geschosse; Versuch, um das absolute Gewicht der Luft in Bezug auf Wasser zu bestimmen; Versuche über einige Wirkungen der Wärme und Kälte; Versuche, um festzustellen, ob Glas von Gerüchen oder von Feuchtigkeit durchdrungen werden kann; Versuche über das Licht und dessen Wirkungen; Versuche über die Verdauung einiger Tiere.

Aus dieser Inhaltsangabe ergiebt sich, dass die Akademiker nicht nur die Arbeiten Galileis und Torricellis weiter zu führen beabsichtigten; sie stellten auch neue Probleme auf und suchten sie auf experimentellem Wege aufzuklären. Es fällt sogleich auf, dass sie die Aufgaben, die Guericke zu lösen trachtete, ebenfalls in Angriff genommen haben, wie es nicht anders zu erwarten war, da die italienischen wie der deutsche Forscher an Galilei anknüpften, dass aber bei den Versuchen über den Luftdruck diesem, bei den übrigen jenen die größere Originalität zuzusprechen ist.

Die Versuche über den Luftdruck hatten zunächst den Zweck, die Torricellische Lehre ihren Widersachern gegenüber experimentell zu bestätigen. Dann aber sollten sie das Verhalten verschiedener Körper im luftleeren Raume kennen lehren. Soviel wie möglich bedienten sich die

---

1) P. van Musschenbroek, Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento. Lugd. Bat. 1731.

Akademiker zu diesen Versuchen der Barometerleere, in einzelnen Fällen auch der Luftpumpe. Die Art, wie Torricelli das Verhalten von Tieren im luftleeren Raume untersucht hatte, indem er sie durch das Quecksilber seines Barometers emporsteigen ließ, verwarfen sie mit Recht, weil die Tiere an dessen Oberfläche in den meisten Fällen tot oder doch sehr beschädigt angekommen waren. Sie verwendeten deshalb zu diesem Versuche eine Luftpumpe einfachster Konstruktion, als deren Erfinder sie jedoch Boyle nannten. »Wir kamen«, erzählen sie [1], »darauf, jenes (das Untersuchungsobjekt) in ein Gefäß zu bringen, aus dem die Luft durch Pumpen entfernt wurde, wie es vor kurzem in glücklicher Weise Boyle für seine ausgezeichneten und berühmten Versuche erfand, aber in Ermangelung eines Künstlers, welcher die Maschine hätte bauen können, nicht zur Ausführung brachte.« Es ist nicht recht verständlich, wie die Akademiker in diesen Irrtum verfallen konnten, möglichenfalls trug das enge Freundschaftsverhältnis, welches der Herausgeber der Saggi Magalotti mit dem englischen Gelehrten geschlossen hatte, daran die Schuld [2]. Übrigens erzielten sie weder mit der Luftpumpe noch mit dem Barometer, was hier gleich bemerkt werden mag, sehr bedeutende Verdünnung der Luft [3].


Fig. 140.

Wir wenden uns nach diesen allgemeineren Bemerkungen nunmehr zu der Betrachtung der einzelnen, von den Akademikern über den Luftdruck und das Vakuum angestellten Versuche, welche ein für damalige Zeit überraschendes experimentelles Geschick bei freilich nicht immer glücklicher Fragestellung beweisen. Offenbar wurden sie durch einen tüchtigen Glasbläser, wohl Guiseppe Moriani, auf das wirksamste unterstützt.

Ihre ersten Versuche sollten über das Wesen des Barometers nach allen Richtungen hin Klarheit verbreiten. Dazu stellten sie zunächst ein Barometer im luftleeren Raume eines anderen Barometers her oder sie ließen vielmehr nach Anweisung von Fig. 140 die untere Öffnung eines Barometers in der erweiterten Kammer eines zweiten münden. KL und DE sind zwei oben offene Röhren von mindestens $1\frac{1}{4}$ Cubiti (etwa 28″ rheinl.) Länge, DE ist oben zu dem Gefäße AB erweitert, welches mittels des Deckels AG geschlossen werden kann. Bei G, zur Aufnahme des Rohres KL durchbohrt, trägt der Deckel bei H

1) van Musschenbroek, Tentamina. I. S. 87.
2) Poggendorff, Geschichte der Physik. S. 358.
3) van Musschenbroek, Tentamina. I. S. 27 und 88.

ein Röhrchen mit enger Öffnung, *J*. In das Gefäß *AB* wird das zweite *FQ* hereingestellt und darauf das Rohr *KL* in die Öffnung *G* mit Mastix oder einem im Feuer erweichenden Kitte luftdicht eingesetzt. Darauf wird es mit dem Deckel auf *AB* angebracht und dieser auf dem Gefäße *AB* mit einem aus ganz fein geriebenen Ziegeln, Terpentin und griechischem Pech bestehenden Kitt befestigt. Ist der Apparat so zusammengestellt, so wird das untere Ende von *DE* mit einem Stücke Blase fest verschlossen und, nachdem dies geschehen, der ganze Apparat durch *K* mit Quecksilber gefüllt. Beginnt dies bei *J* auszulaufen, so wird auch diese Öffnung mit Blase zugebunden und ebenso *K*, wenn das Quecksilber den ganzen Apparat angefüllt hat. Nunmehr öffnet man das untere Ende *D* und taucht es in das herauslaufende Quecksilber, welches die Schüssel *MN* erfüllt. Es sinkt bis *O*, so dass *OP* etwa $1\frac{1}{4}$ Cubiti beträgt, aus *KL* aber fällt es, *QL* füllend, ganz heraus. Durchbohrt man nun aber *J*, fällt das Quecksilber aus *DE* ganz heraus, bei *KL* dagegen steigt es wieder empor bis zu einer Höhe von $1\frac{1}{4}$ Cubiti. Auch jetzt noch würde der hübsche, aber umständliche Versuch seine Wirkung auf einen größeren Kreis nicht verfehlen, übrigens hatte ihn Roberval[1]) bereits früher angestellt.


Fig. 141.

Dass in die Barometerkammer gebrachte Luft ihr Volumen vergrößert, wiesen sie in der nämlichen Weise nach, wie dies Roberval und Boyle schon gethan hatten, um das nämliche für den Rezipienten zu zeigen. Sie hingen, wie Fig. 141 zeigt, an den Deckel der erweiterten Barometerkammer eine zusammengedrückte und zugebundene Lammblase und sahen sie sich ausdehnen, während das Quecksilber sank. Ersetzten sie die Blase durch Schaum aus Eiweiß oder Seifenwasser, so bildeten sich größere Blasen. Beide Versuche werden auch jetzt noch zum Nachweis der Wirkung der Luftpumpe als Vorlesungsversuche benutzt.

Der durch Fig. 142 dargestellte Versuch hatte dagegen den Zweck, in einer Meinungsverschiedenheit der Akademiker die Entscheidung herbeizuführen. Er ist außerdem interessant, weil bei ihm wohl zum erstenmal eine auf die Unterlage aufgekittete Glasglocke zur Verwendung kam. Die Frage war, ob nur das Gewicht der unter dieser befindlichen Luft die gehobene Quecksilbersäule im Gleichgewicht hielt, oder ob auch in diesem die ganze Atmosphäre mitwirkte. Bestand die erste Ansicht zu Recht, so hätte nach dem luftdichten Aufkitten der Glocke *BD* das Quecksilber im Barometer tief heruntergehen müssen; es behielt aber seinen Stand. Dass hierbei lediglich der Druck, unter dem die Luft in die Glocke getreten war, bestimmend wirkte, ergab die Versuchsanordnung, wie sie Fig. 143 zeigt. Bei ihr diente als Gefäß ein doppelt tubuliertes Glasgefäß; in den Tubulus *AD* setzten sie das Barometerrohr und verkitteten es, an den

1) van Musschenbroek, Tentamina. I. S. 30.

Tubulus C befestigten sie luftdicht einen Pumpenstiefel mit Kolben. Sie beobachteten, dass das Quecksilber im Barometer von O bis J sank, wenn sie den Kolben herauszogen. Dagegen stieg es, wenn sie die Luft AGH mit genähertem Feuer erhitzten, sank aber, wenn sie sie mit aufgelegtem Eis abkühlten, gerade so, als ob die Luft, wie es durch die entgegengesetzten Operationen der Pumpe geschah, vom Feuer verdichtet, vom Eis ausgedehnt würde.

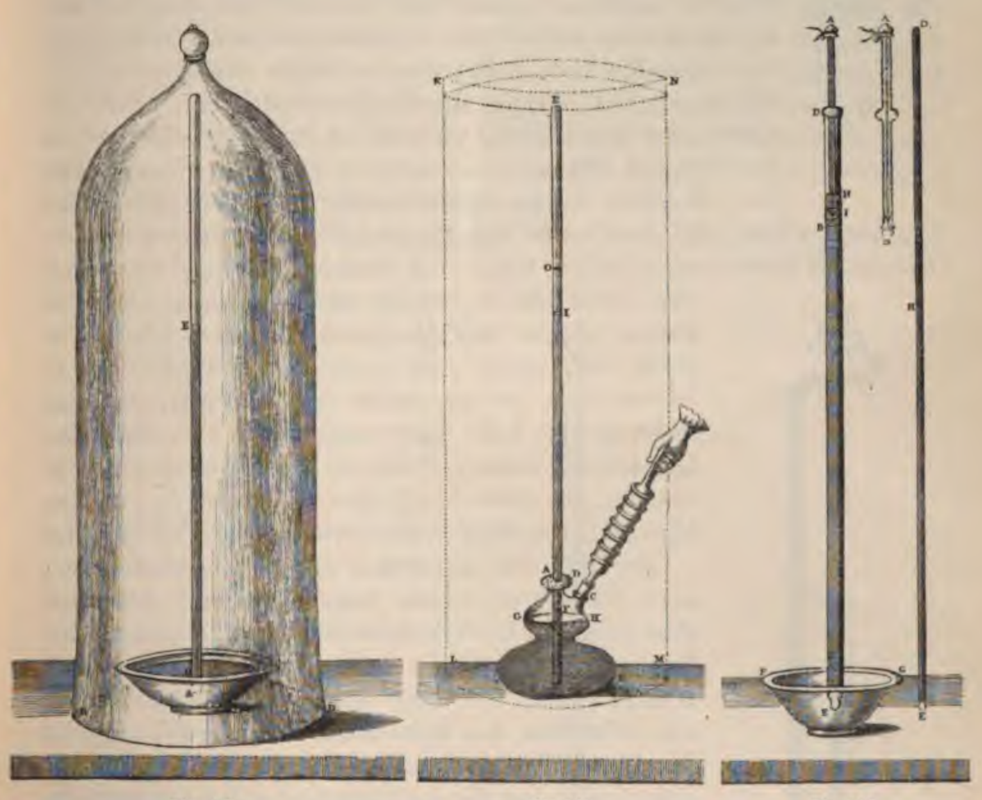


Fig. 142. Fig. 143. Fig. 144.

Auch über die Abhängigkeit des Volumens der Luft vom Drucke stellten die Akademiker Versuche an, ohne jedoch zu einer präzisen Fragestellung zu gelangen und demgemäß brauchbare Ergebnisse zu erhalten.

Eine Reihe weiterer Versuche beabsichtigte das verschiedene Verhalten des lufterfüllten und des luftleeren Raumes darzulegen. Diesem Zwecke dienten die Apparate Fig. 144. In die obere Öffnung des die Länge von 14 Cubiti überschreitenden, beiderseits offenen Glasrohres DE kitteten sie engere und kürzere Rohr AB, welches mit Quecksilber gefüllt und iden Seiten mit Blase zugebunden war. Mittels eines in dieses Rohr en eisernen Stichels war es möglich, durch einen auf die Blase

bei A ausgeübten Druck die Blase bei B zu durchstoßen. Geschah das nun, während DE mit Quecksilber gefüllt und in das Gefäß FG in Quecksilber umgestürzt worden war, so lief das Quecksilber aus AB aus, hörte aber auf zu fließen, sobald man Luft in DE einließ. Sodann setzten sie das enge Barometerrohr DE (rechts) in ein weiteres, welches oben einen seitlichen Ansatz mit leicht abzubrechender Spitze aufwies. Das innere war unten schräg abgeschnitten, so dass es immer mit dem äußeren in Verbindung blieb. Füllten sie nun beide mit Quecksilber und kehrten sie in Quecksilber um, so entstand in beiden die Leere. Sperrten sie beide dagegen mit dem Finger ab und öffneten die Spitze des äußeren, so fiel in diesem das Quecksilber, während es in jenem stieg und es bis oben hin erfüllte, wenn es nicht viel länger wie 1¼ Cubiti war. Brachten sie das mit Quecksilber gefüllte in eine Spitze ausgezogene Glasgefäß, welches in Fig. 145 abgebildet ist, nachdem seine Öffnung mit Wachs zugeschmolzen war, in die Barometerleere und schmolzen das Wachs mittels einer von außen genäherten Kerzenflamme ab, so floss das Quecksilber aus, hörte aber sofort auf, sowie Luft eingelassen wurde. Ebenso beobachteten sie an einem Barometerrohr, welches unten in eine feine Spitze ausgezogen war, dass das Quecksilber solange unten in einem feinen Strahle ausfloss, bis sein Stand oben die Höhe des augenblicklich herrschenden Barometerstandes erreicht hatte.

Fig. 145.

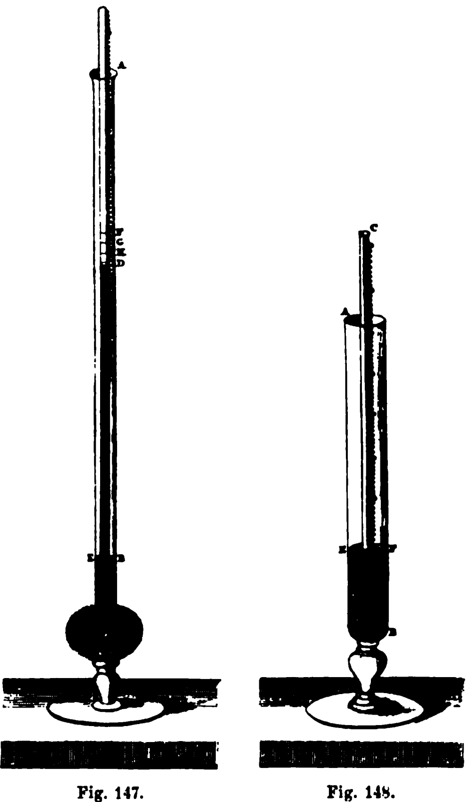
Der mit dem Apparat (Fig. 146) angestellte Versuch ließ sie erkennen, dass das Barometer als der eine Schenkel eines kommunizierenden Rohres aufzufassen sei. Sie füllten zunächst den unteren kugelförmigen Raum GB des Gefäßes AB mit Quecksilber, und schmolzen das Röhrchen BC bei C zu, als dort das Quecksilber auszufließen begann. So konnten sie sicher sein, dass die Luft aus GB völlig ausgetrieben war. Darauf setzten sie das unten bei F schief abgeschnittene, oben geschlossene mit Quecksilber gefüllte Röhrchen ein. Seine Länge betrug noch nicht 1¼ Cubiti und es war so eng, dass das Quecksilber nicht ausfloss, auch wenn die Öffnung nach unten gehalten wurde. Der ganze Apparat wurde nun von H bis AD mit kochendem Wasser gefüllt, durch die durchlochte, besonders gezeichnete Glasplatte bedeckt und diese mit übergezogener Blase festgebunden. Erkaltend zog si[illegible]n das Wasser bis IM zusammen, das Quecksilber im inneren Rohr [illegible]nk bis [illegible] stieg aber wieder in dem Rohr es ganz erfüllend em[illegible] Blase durchlochte.

Fig. 146.

Der Versuch verlief ebenso, wenn sie das Quecksilber durch Wasser ersetzten.

Den sich im Raum über IM bildenden Wasserdampf hielten die Akademiker wie ihre sämtlichen Zeitgenossen für Luft. »Einige haben geglaubt«, sagen sie[1]), »dass das Wasser in dem Rohre nicht zu derselben Höhe herabsinke, wie das Wasser im Gefäße, nach Maßgabe des hervorgerufenen Vakuums,... aus demselben Grunde, den wir in dem vorhergehenden Versuche herangezogen; denn die Luft, welche aus dem Wasser heraustritt, begiebt sich in den leeren Raum, der vielleicht zu eng ist, als dass sie sich in ihm entwickeln könnte; deshalb haben sie daran gedacht dadurch, dass sie diesen Versuch mit Wein, Öl, Weingeist und anderen Flüssigkeiten anstellten, aus dem größeren oder kleineren leeren Raum, welcher im Rohre zurückbleibe, erkennen zu können, welche Flüssigkeit die größere Menge Luft zwischen ihren Teilchen enthalte.«

Führte der Versuch die Akademiker somit auch noch nicht zur Unterscheidung des Dampfes und der Luft, so gab er ihnen doch ein bequemes Mittel zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes an die Hand, welches die Figg. 147 und 148 erläutern. Sie führten, Fig. 147, das bei C in eine enge Öffnung ausgezogene, mit Quecksilber bis zu der durch den Luftdruck bedingten Höhe gefüllte Barometerrohr in das unten sich kugelförmig erweiternde cylindrische Gefäß AC, welches bis EB mit Quecksilber gefüllt war. Gossen sie nun den Raum AB voll Wasser, so stieg das Quecksilber im engen Rohr bis F, ersetzten sie das Wasser durch Öl oder Weingeist, so erhielten sie die entsprechenden Erhebungen bis G und H. Dabei entging es ihnen nicht, dass sie die nämlichen Beobachtungen zu machen im stande wären, wenn sie das …r durch ein kürzeres, … offenes ersetzten, …ng in das Quecksilber tauchte. Das gab den viel hand-


Fig. 147. Fig. 148.

…rock, a. a. O. S. 49.

licheren Apparat Fig. 148 S. 159. Für die genauen Ablesungen bedurften aber die Röhren einer Teilung in »Grade« und eine solche erhielten sie, indem sie auf das Glas des Rohres in gleichen Abständen Tröpfchen schwarzen Glases aufschmelzen ließen, von denen jedesmal das zehnte durch ein Tröpfchen Milchglas ersetzt war[1]).

Die nun noch zu schildernden Versuche, welche die Akademiker mit dem Barometer anstellten, hatten zum Zweck die in Frankreich zuerst erkannte Abhängigkeit des Barometerstandes von der Erhebung über den Meeresspiegel zu untersuchen[2]). Dazu mussten sie zuerst das Barometer transportierbar machen. Wie sie dies zu erreichen dachten, zeigt Fig. 149, die nach dem früher Gesagten weiter keiner Erklärung bedarf. Mit der Genauigkeit der erhaltenen Apparate waren aber die Akademiker nicht zufrieden. Sie konnte auch nicht groß sein, da bei den an Ort und Stelle verbleibenden Instrumenten Änderungen in der Höhe des Quecksilbers von mehreren Graden beobachtet wurden. Sie wußten wohl, dass daran die Luft schuld war, die sie aus ihren Instrumenten nicht entfernen konnten und so lässt es ihren experimentellen Scharfsinn in vorteilhaftestem Licht erscheinen, dass sie bestrebt waren, diese Luft ihrer Aufgabe dienstbar zu machen.

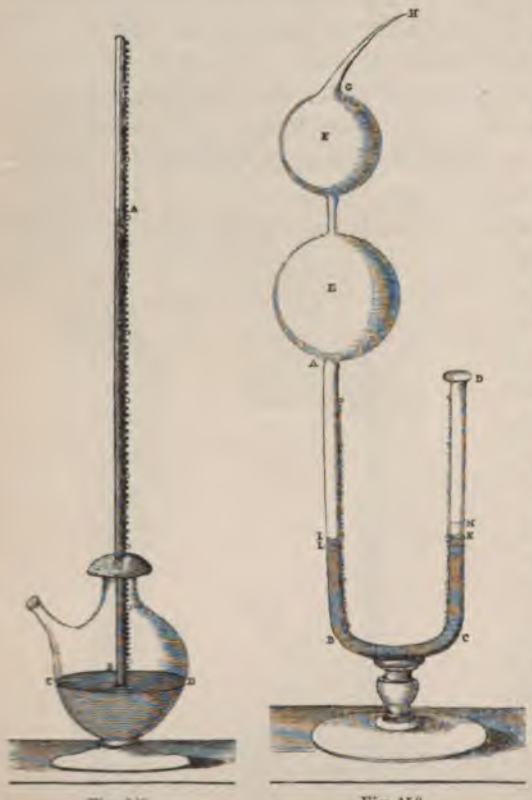
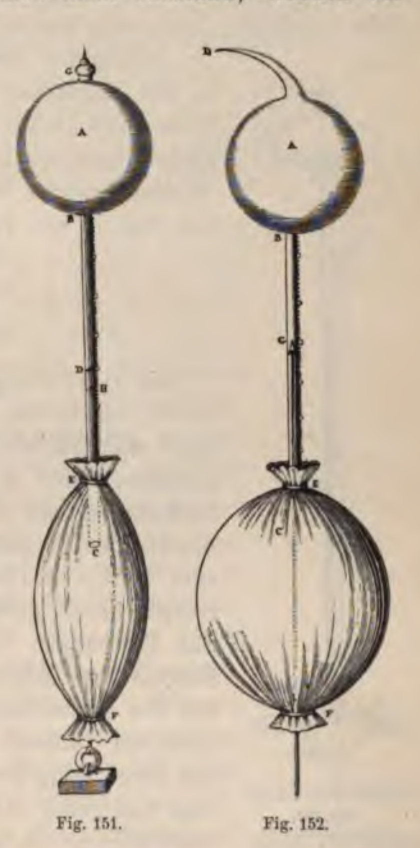


Fig. 149. Fig. 150.

Den ersten der Apparate, bei dem sie dieses versuchten, sehen wir in Fig. 150. Er besteht aus einem U-förmig gebogenen Glasrohre $ABCD$, welches an der einen Seite offen ist, an der anderen die beiden Kugeln F und E trägt. F ist mit dem in eine Spitze ausgezogenen Röhrchen GH versehen, welches vor der Glasbläserlampe leicht zugeschmolzen werden kann. Beide Schenkel des Rohres tragen Teilungen. Statt der mit Glaströpfchen hergestellten benutzten freilich die Akademiker diesmal eine

1) v. Musschenbr[illegible] a. O. I. S. 47. 2) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 49.

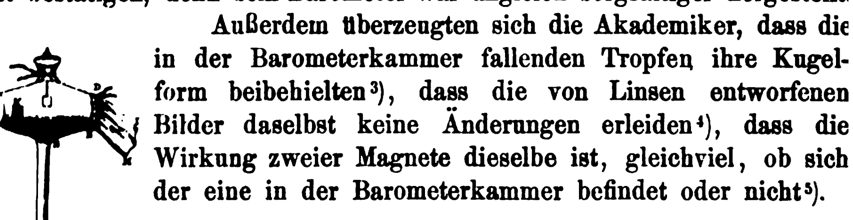
sorgfältig auf Pergamentstreifen verzeichnete, welche außen am Rohre angebracht war, so dass die Teilstriche auf dem Glase lagen, doch durch das Glas hindurch leicht gesehen werden konnte. Um nun eine Höhe, z. B. die eines Turmes zu messen, wurde zunächst an dessen Fuße Quecksilber in das Rohr gegossen und solange gewartet, bis sich die Temperaturen außerhalb und innerhalb des Rohres ausgeglichen hatten. Das Quecksilber steht dann in beiden Schenkeln des Rohres gleich hoch. Darauf wird H so rasch zugeschmolzen, dass die Hitze der Flamme die Temperatur im Inneren der Röhre nicht beeinflussen kann, der Apparat rasch auf die Höhe des Turmes gehoben und der Stand des Quecksilbers in den beiden Schenkeln abgelesen. Vorher hatte man sich überzeugt, dass die Temperatur am Fuße und auf der Spitze des Turmes die nämliche war; Beobachtungen, bei denen dies nicht stattfand, wurden verworfen. Als für solche Untersuchungen geeignet erwies sich die Zeit kurz vor Sonnenaufgang oder ein Tag, an dem der Himmel mit Wolken bedeckt war. Zu dem nämlichen Versuch war auch der in Fig. 149 dargestellte Apparat als brauchbar, wenn man anstatt AB ein oben offenes Rohr anwendete und das Gefäß CD verschloss, nachdem sich das Quecksilber in beiden gleich hoch gestellt hatte.


Fig. 151. Fig. 152.

Nur qualitative Ergebnisse konnten die beiden Apparate geben, welche uns die Figuren 151 und 152 vorführen. Sie sind aber so eigenartig, dass es sich wohl der Mühe lohnt, auch sie in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen. Beide bestehen aus einer großen Glaskugel A, welche in ein sorgfältig geteiltes Glasrohr BC ausläuft. An dieses ist in beiden Apparaten bei E eine Blase luftdicht befestigt. Die Kugel A (Fig. 151) ist oben geschlossen und trägt bei G einen Knopf zum Befestigen eines Seiles, mit dessen Hilfe sie auf den Turm gezogen werden kann. Ehe die Blase bei diesem Apparat zugebunden wird, wird soviel r hineingebracht als nötig ist, um sie und das Rohr EB zur Hälfte sser zu füllen. Darauf wird ein Gewicht an die Blase befestigt und Wasser zugebunden. Aus dem Unterschied des Standes des Wassers ı Fuße und auf der Höhe des Turmes wird auf diese geschlossen.

Bei dem Apparat (Fig. 152, S. 161) wird die Kugel und Blase mit Luf gefüllt und dann die Spitze D zugeschmolzen. Bei F ist die Blase um eine dünnen Glas- oder Kupferstab gebunden, der etwa bis zur Mitte des ge teilten Rohres hereinreicht. Beim Hinaufziehen auf den Turm wird diese Stab etwas gehoben, da sich die in der Blase befindliche Luft nun aus dehnt und die Blase dadurch etwas kugeliger wird.

Die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Temperatur oder, wenn man will, das Vorhandensein von Luft in der Barometerleere, wiesen sie noch dadurch nach[1]), dass sie an das kugelförmige obere Ende eines Barometerrohres eine aufgeschnittene Blase festbanden und dann heiße oder kaltes Wasser hineingossen. Im ersten Falle fiel, im zweiten stieg das Barometer. Dies Ergebnis fiel Musschenbroek[2]) so auf, dass er den Versuch wiederholte. Er konnte die Beobachtungen der Akademiker freilich nicht bestätigen, denn sein Barometer war ungleich sorgfältiger hergestellt.



Außerdem überzeugten sich die Akademiker, dass die in der Barometerkammer fallenden Tropfen ihre Kugelform beibehielten[3]), dass die von Linsen entworfenen Bilder daselbst keine Änderungen erleiden[4]), dass die Wirkung zweier Magnete dieselbe ist, gleichviel, ob sich der eine in der Barometerkammer befindet oder nicht[5]).

2. Elektrizität, Schall und Kapillarität im luftleeren Raume.

Die Schwierigkeit, in der Barometerkammer zu hantieren, sowie der Umstand, dass in ihr immer noch eine nicht unbeträchtliche Menge Luft vorhanden war, wurde Ursache, dass die Versuche der Akademiker, welche Elektrizität oder Schall im luftleeren Raum hervorzurufen bezweckten, ergebnislos verliefen, während Boyle und zum Teil Guericke die Lösung dieser Aufgabe ohne Schwierigkeit gelungen war. Gerade deshalb aber haben die Florentiner auf diese Experimente eine so große Summe von Mühe und Scharfsinn verwendet[6]), dass sie für die Entwickelung der Experimentierkunst von nicht geringem Interesse sind. Fig. 153 zeigt die Vorrichtung, mit deren Hilfe sie elektrische Wirkungen erhalten wollten. Das Glasgefäß AB war bei B mit dem Barometerrohr in Verbindung. Es hatte bei A eine kleine Öffnung, die leicht mit einem Stück Blase zuzubinden war, sodann eine große DE an der Seite, durch die man die Hand oder ein geeignetes Werkzeug einführen

Fig. 153.

v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 63.
2) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 64.
v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 62.
4) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 66.
v. Musschenbroek, a
...henbroek, a. a. O. I. S. 67.

konnte. Vor Beginn des Versuches wurde die untere Öffnung C des Barometerrohres mit Blase zugebunden, sodann vor die Öffnung DE ein auf beiden Seiten offenes Stück Blase gelegt, in welches die Hand des Experimentators, wie in einen Ärmel gesteckt werden konnte. In das Gefäß AB wurden dann leichte Körperchen gebracht, an seine Wand die Tuchstückchen K angeklebt. Der Experimentator kittete einen Ring von Wachs oberhalb des Handgelenkes um seinen Arm und ließ darüber die Blase fest schnüren, nachdem er ein Stückchen Ambra oder Bernstein in die Hand genommen hatte. War dies geschehen, so wurde der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt, die Öffnung bei A geschlossen, die Blase bei C unter Quecksilber durchstoßen. Das Quecksilber sank nun herab, aber es war nicht möglich, auf solche Art einen leeren Raum zu erhalten. Die Luft drang überall durch, an die Ausdünstung der Haut des Experimentators dachten die Akademiker nicht einmal, und es ergab sich, dass der Versuch so nicht angestellt werden konnte. Auch half es nicht, dass sie das Rohrende C nicht durch die Blase, sondern durch ein untergelegtes Polster abschlossen.

Fig. 154.

Um dennoch ihr Ziel zu erreichen, kitteten sie die Ambra oder den Bernstein bei B (Fig. 154) an ein mit Handgriff versehenes Holzstäbchen, um welches sie ein Stück Blase, wie einen Kragen, gebunden hatten, dessen anderes Ende sie um den Ansatz A des kugelförmig erweiterten oberen Teiles des Barometerrohres (Fig. 155) befestigten. Bei B hatten sie in die Kugel ein Tuchstückchen geklebt, außerdem einige leichte Körperchen hereingebracht. Sie füllten nun das Rohr mit Quecksilber und stellten in gewohnter Weise die Luftleere her. So kräftig sie nun aber auch das Tuch mit dem Stückchen Bernstein B rieben, so konnten sie nicht die geringste Elektrizitätsentwickelung, welche sich durch die Anziehung jener Körperchen hätte bemerkbar machen müssen, beobachten, wohl weil, wie sie meinten, das Quecksilber einige »Fäces« in dem Tuche zurückgelassen und es so zur Elektrizitätserzeugung unbrauchbar gemacht hatte. Es ergab sich auch kein besseres Resultat, als sie das Tuch durch ein mit Siegellack an der inneren Wand der Kugel befestigtes Stückchen Ziegenfell ersetzten.

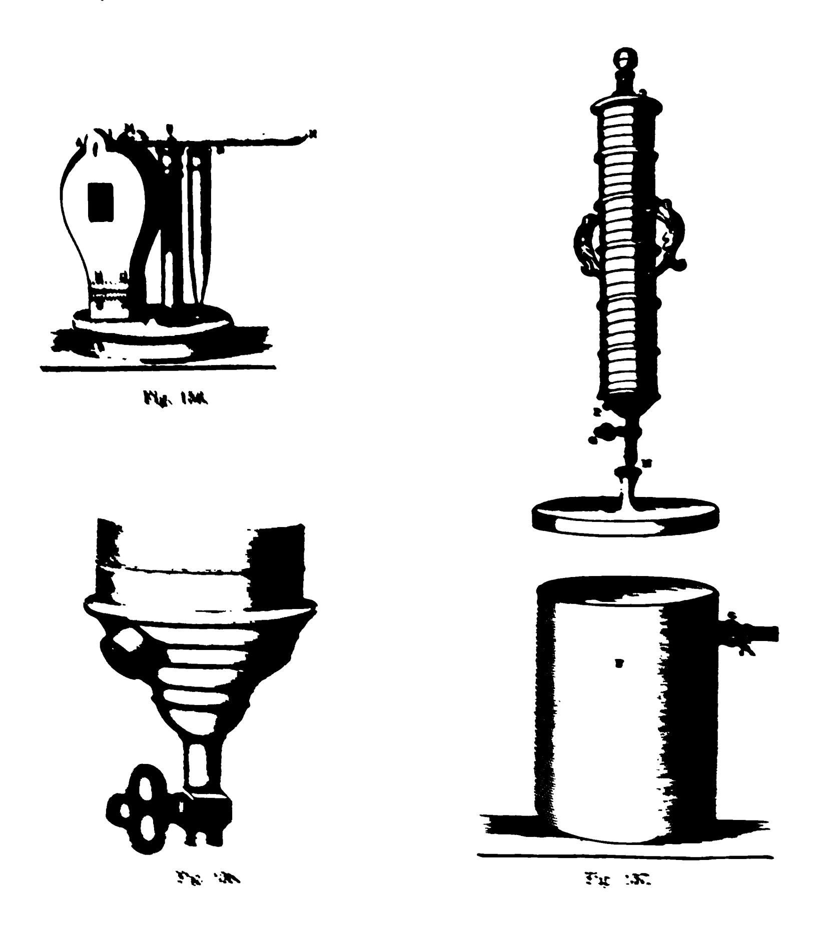

Fig. 155.

Auch die Versuche, das Verhalten des Schalles im luftleeren Raume zu studieren, verliefen ergebnislos. Die Akademiker hingen in das in Fig. 141 (S. 156) dargestellte Barometer anstatt der Lammblase eine kleine Schelle, fanden aber, als sie es schüttelten, dass die Schelle ebenso tönte, wie in der Luft. »Bei diesem

11*

Versuche«, meinten sie[1]), »wäre es wünschenswert gewesen, dass das tönende Instrument (was nicht erreicht werden konnte) mit dem Gefäße in keiner Weise in Berührung käme, da man ohne dies nicht sicher sein konnte, ob der Ton von der höchst verdünnten Luft oder vielleicht von Ausdünstungen des Quecksilbers in den leeren Raum, oder aber von den Tönen der Schläge an das Metall, welche auf das Gefäß durch den Faden übertragen wurden und welche demnach die äußere Luft durch unvermittelten Übergang erhielt, übertragen wurde.«

Um diese Schwierigkeiten zu heben, glaubten sie deshalb den Versuch mit einem pneumatischen Instrumente anstellen zu müssen, bei dem der Ton durch die austretende Luft selbst erregt würde, also am besten mit einer Orgelpfeife. Eine solche wurde mit dem Blasebalg *AL* (Fig. 156)



und der Stütze *K* auf die Unterlage *EC* aufgesetzt, so dass sie durch den [illegible] in deren Innerem mit dem ersteren in Verbindung stand.

---

1) [illegible]

Durch die eiserne Stange JH, welche an K drehbar befestigt durch den am Blasebalg angebrachten Ring M gesteckt war, konnte dieser in Betrieb gesetzt werden. Der ganze Apparat kam dann in den Behälter F (Fig. 157), auf dessen luftdicht aufgesetzten Deckel die Luftpumpe bei N aufgeschraubt werden konnte. Ihren unteren Teil zeigt in vergrößertem Maßstabe Fig. 158. Die Akademiker müssen aber gestehen, dass kein Unterschied gehört werden konnte, mochte nun die Orgelpfeife im Behälter F, oder in der freien, wie sie sagen, natürlichen Luft in Betrieb gesetzt worden sein. »Daraus folge (sagten einige gleichsam scherzend), entweder, dass die Luft nichts zum Tone beitrage, oder ihn in jeder Verfassung gleichmäßig hervorrufe[1].«

Über die Einrichtung des Ventils P der Luftpumpe teilen die Akademiker leider nichts mit. Es ersetzt den Stift Guerickes und dürfte wohl aus einem Stück Leder oder Blase, welches auf zwei Seiten befestigt wurde, hergestellt sein. Solche Ventile wendete wenigstens Papin später bei seiner Ventilluftpumpe an.

Auch das Bestreben der Akademiker, mittels zweier übereinander in der Barometerkammer angebrachter Thermometer »die Bewegung der unsichtbaren Exhalationen des Feuers im luftleeren Raume« zu beobachten, führte zu keinem Ergebnis. Sie fanden nur, dass noch Luft in der Kammer war, die es erklärte, dass das obere um zwei ihrer Thermometergrade höher stand, wie das untere, während in der lufterfüllten Barometerkammer dieser Unterschied allerdings fünf Grade betrug[2].

Die Steighöhe der Flüssigkeit in kapillaren Röhren ergab in der Barometerkammer den nämlichen Wert, wie in freier Luft. Von den verschiedenen Versuchen, die sie zur Entscheidung dieser Frage anstellten, sei nur der erwähnt, dessen Anordnung sich aus Fig. 159 erkennen lässt. Das in eine lange Röhre AE ausgehende Gefäß EHC hatte an der Seite eine Öffnung F, an deren Metallfassung die Luftpumpe angesetzt werden konnte. Ehe dies aber geschah, wurde es auf der Seite liegend mit rotem Weine gefüllt, dabei aber vermieden, dass der Wein an die Öffnung D des in AE hereinreichenden kapillaren Rohres AD gelangte. Die Öffnung des Rohres AE bei A wurde mit Blase verschlossen und das Gefäß, während es in seiner liegenden Stellung verblieb, ausgepumpt, dann aber aufgerichtet. Der Wein stellte sich nun bis BC und stieg im kapillaren Rohre empor, aber nicht höher, wie im lufterfüllten Raume auch[3].

Fig. 159.

Das Sieden kalten Wassers, welches die Akademiker im luftleeren Raume, ebenso wie auch das Schmelzen des Schnees, beobachteten, führte sie ebensowenig wie Boyle zu der Erkennnis, dass

1) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 88.
2) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 72.
3) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 90.

hieran der aufsteigende Wasserdampf Schuld sei. Das Schmelzen des Schnees schrieben sie nicht dem Vakuum, sondern mit Recht dem Quecksilber zu, über dessen Temperatur sie indessen keine Mitteilung machen[1].

3. Thermometer, Hygrometer und Zeitmesser.

Wie es die Natur der Sache mit sich brachte, sind die Arbeiten, welche die Akademiker zur Messung der Temperatur und der Feuchtigkeit der Luft ausführten, viel weniger zahlreich, wie die im vorigen Abschnitte dargelegten, die die Kenntnis des leeren Raumes fördern sollten. Als sie anfingen, sich mit der Konstruktion der Thermometer zu beschäftigen, war der wichtige Fortschritt, eine Flüssigkeit an Stelle der Luft als thermometrische Substanz zu nehmen und so Galileis Thermometer durch ein handlicheres zu ersetzen, bereits gethan. Als erster scheint der französische Arzt Jean Rey[2] (gest. 1645) 1631 die Ausdehnung des Wassers zur Temperaturbestimmung verwendet zu haben. Er beschrieb sein Instrument dem Pater Mersenne als eine Hohlkugel mit daran befindlichem langen Halse, die zum Teil mit Wasser gefüllt war. Ob der Hals oben geschlossen oder offen war, darüber sagt er nichts. Demgegenüber schrieben die Italiener, namentlich Viviani und Urbano Daviso (geb. 1611) dem Großherzog Ferdinand II. von Toscana die erste Anwendung einer Flüssigkeit als thermometrische Substanz zu, und 1654 befanden sich solche Instrumente in des Großherzogs Besitz. Es ist wohl möglich, dass er selbständig auf die Idee gekommen ist, wenn auch nicht wahrscheinlich, wir wissen indessen nicht, ob er Reys Thermometer gekannt hat. Doch war sein Thermometer oben geschlossen. Die Saggi bilden vier Formen des Instrumentes ab, von denen zwei, deren eines in Fig. 160 dargestellt ist, mit den jetzt noch gebräuchlichen übereinkommen, sie unterschieden sich voneinander nur durch ihre Länge. Man verfolgt mit Interesse die Art, wie solche Instrumente verfertigt wurden. »Das Thermometer«, lassen sich die Saggi vernehmen[3], »ist aus bestem Glas durch Künstler hergestellt, welche die Luft aus dem Munde wie aus einem Blasebalge ausblasen und durch ein Glasrohr gegen die Lampenflamme bewegen, welche sie entweder unversehrt oder in Abschnitte geteilt, wie es in jedem Falle verlangt wird, durch das Einblasen auftreiben und so bewunderungswürdige und sehr dünne Gegenstände aus dem Glase formen. Einen solchen Künstler nennen wir Bläser. Seine Sache ist es, die Kugel des Instrumentes von solcher Kapazität und Größe herzustellen und ihr eine Röhre von solcher Weite anzufügen.

Fig. 160.

1) v. [illegible]
2) [illegible]
3) v. [illegible]

dass, nachdem Weingeist bis zu einem gewissen, an seinem Rohre angebrachten Zeichen hineingegeben ist, die einfache Kälte des Schnees und Eises ihn nicht unter zwanzig auf der Röhre bezeichnete Grade zusammenziehe; und andererseits die größte Kraft der Sonnenstrahlen mitten im Sommer ihn nicht über achtzig Grade ausdehnen könne. Die Art, das Instrument zu füllen, ist die folgende: Die Kugel wird über Feuer erhitzt und darauf plötzlich das offene Ende der Röhre in Weingeist getaucht, welcher langsam hineinsteigt. Weil es aber schwer, wenn nicht unmöglich ist, durch Ausdehnung die Luft auszutreiben, und da die Kugel, wenn auch nur etwas Luft darin bleibt, nicht gefüllt werden kann, so muss man das letzte Nachfüllen mittels eines Trichters besorgen, welcher einen ganz dünn ausgezogenen Hals besitzt. Dieser kann am besten erhalten werden, wenn man Glas im Feuer glühend macht; denn dann kann man es in ganz dünne Fäden ausziehen, welche im Innern einen offenen Kanal haben, wie jeder weiß, der die Kunst der Glasbearbeitung kennt. Mit Hilfe dieses Trichters kann das Thermometer daher gänzlich gefüllt werden, indem man den Trichterhals in das Thermometerrohr einführt und die Flüssigkeit durch die Gewalt des Blasens hineintreibt, oder sie wieder zurücksaugt, wenn zuviel eingedrungen ist. Indessen ist zu bemerken, dass die Thermometergrade sehr sorgfältig aufgetragen werden müssen; ebenso ist es notwendig, das ganze Rohr mit dem Zirkel genau in zehn gleiche Teile zu teilen und jeden Teilstrich nachher durch eingebrannte weiße Glasperlen zu bezeichnen. Dann werden die anderen Grade dazwischen mit schwarzen eingebrannten Perlen bezeichnet, diese letzte Teilung aber kann nach dem Augenmaße geschehen, weil Übung, Sorgfalt und Aufmerksamkeit die gleichen Abstände sichern und eine gute Teilung verbürgen, so dass jemand, der Übung hat, kaum irren wird. Ist dies vollendet und mit Hilfe des Versuches mit der Sonne und dem Eise die notwendige Menge Weingeist genau bestimmt, wird die Öffnung des Rohres mit der Lampenflamme hermetisch, wie man es gewöhnlich nennt, geschlossen, und das Thermometer ist fertig«.

Den Weingeist zogen die Akademiker dem Wasser vor, weil er beweglicher sei, die kleinsten Veränderungen der Temperatur angebe und die Wärme rascher in sich aufnehme. Auch setze das Wasser mit der Zeit Unreinigkeiten ab. Sie färbten den Weingeist mit Kermes oder Drachenblut, kamen aber davon zurück, weil der Farbstoff das Glas beschmutzte. Diese Thermometer verdrängten nach und nach die Luftthermometer. In England führte sie um 1730 Robert Southwell ein[1]).

Wie bereits erwähnt, unterschieden sich die gebräuchlichen Thermometer nur durch ihre Länge. Das längere war in 100, das kürzere in 50 Grade geteilt. Jenes zeigte bei der größten Winterkälte in Florenz 17 oder 16, dieses gewöhnlich 12 oder 11 Grade, ihre Angaben in der Sonne waren

1) Halley, Philosophical Transactions No. 269, S. 791.

80 und 40 Grade. An einer anderen Stelle[1] geben die Akademiker an, dass das in 50 Grade geteilte Thermometer, wenn sie es in klein gestoßenes Eis stellten, bei etwa 13½ Grad zur Ruhe kam, und diese Angabe hat sich bei den 1829 von Antinori gefundenen Thermometern, die von den Akademikern verfertigt waren, als richtig erwiesen[2]. Welche Verhältnisse zwischen Kugel und Rohr bei beiden einzuhalten waren, hatte die praktische Erfahrung gelehrt.

Schwieriger war ein drittes Thermometer zu verfertigen, welches 300 Grade besaß und an dessen Gefäß ein Fuß, wie der eines Weinglases, angebracht war. Der Glaskünstler des Großherzogs pflegte zu sagen, dass er drei und mehr übereinstimmende Thermometer von 50 Graden herzustellen sich anheischig mache, aber nicht solche von 100 und noch viel weniger solche von 300 Graden. Ein solches war das in Fig. 161 vorgeführte, welches wohl nur einmal hergestellt worden ist. Dank der großen Engigkeit seines Rohres im Verhältnis zur Weite seines Gefäßes übertraf es alle anderen Thermometer der Akademie an Empfindlichkeit. Bei der Länge, die das Rohr erhalten musste, war nicht daran zu denken gewesen, es gerade ausgestreckt zu lassen; es hatte zu einer Schraubenlinie zusammengebogen werden müssen, die durch gläserne, in Haken endende Stützen gehalten wurden. Von der Schönheit seiner Arbeit kann man sich auch jetzt noch überzeugen, da es noch in Florenz vorhanden ist[3], und man wird bei so fortgeschrittener Kunst der Bearbeitung des Glases es wohl für möglich halten, dass auch der in Fig. 110, S. 116, hergestellte Apparat echt ist.

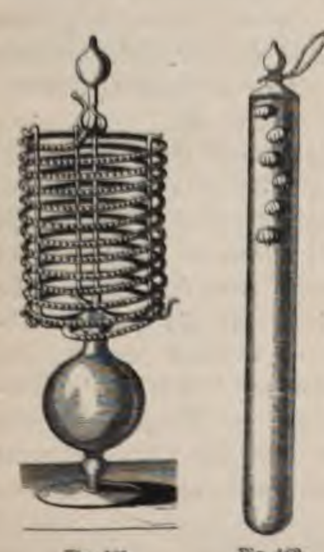


Fig. 161. Fig. 162.

Weitaus geringere Empfindlichkeit und Genauigkeit dagegen schrieben die Akademiker mit Recht dem Instrumente zu, welches Fig. 162 vor Augen führt. Bereits im Jahre 1646 sah es Monconys[4] beim Großherzog Ferdinand II. Es bestand aus einem weiten, fast ganz mit Weingeist gefülltem, hermetisch geschlossenem Rohre, in welchem eine Anzahl zugeblasener, mit Luft gefüllter Glaskugeln von verschiedenem spezifischen Gewichte schwebten, so dass bei verschiedenen Wärmegraden einige dieser Kugeln von der Oberfläche hinabsanken. Bei folgender Abkühlung stiegen sie

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S
2) Libri, Annales de Chimie
3) Gerland in
4) Monco

wieder empor. Das richtige Gewicht erhielten sie durch Abschleifen des unteren zugeblasenen dickeren Endes mit feinem Smirgel auf einer Bleiplatte[1]. Auch mit Kugeln, die unten mit einer kurzen offenen Röhre versehen waren, gelang der Versuch, der in solcher Form das Florentiner Experiment hieß. Reisel (1625—1702) kehrte es um, indem er zeigte, dass im offenen Gefäße solche Kugeln mit Röhren bei steigender Temperatur eine nach der anderen nach Maßgabe ihres Gewichtes emporstiegen und man nannte den neuen Versuch nunmehr den Stuttgarter. Für die Wissenschaft ist dieser Versuch, obwohl er noch in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wieder hervorgeholt wurde, bedeutungslos geblieben. Man benutzte ihn, um Laien in Verwunderung zu setzen und gab deshalb dem äußeren Gefäße auch wohl die Form eines Tieres, eines Frosches oder einer Schildkröte, wie dies der in Fig. 163 abgebildete, in Florenz noch vorhandene Apparat zeigt, den man übrigens zur Untersuchung der Temperatur von Fieberkranken benutzen wollte.



Fig. 163.

Den Apparat zur Beobachtung der Luftfeuchtigkeit, dessen Angabe die Akademiker wie die Erfindung des Flüssigkeitsthermometers ebenfalls dem Großherzog Ferdinand II. zuschrieben, zeigt Fig. 164. »Er besteht«, so schildern ihn die Saggi[1], »aus einem aus Kork verfertigten Hohlkegel, welcher innen mit Pech ausgestrichen, außen mit verzinntem Eisenbleche bekleidet ist. An seinem schmäleren Ende ist er von einer Art Glaslampe umgeben, die in einen genügend spitzen, unten geschlossenen Kegel ausläuft. Der obere Teil des so hergestellten und auf einem Untersatze befestigten Instrumentes wird nun mit Schnee oder fein gestoßenem Eise gefüllt, dessen Schmelzwasser aus der in der Figur sichtbaren, am oberen Teile des Glases angebrachten Röhre abläuft. Die geringste Menge Feuchtigkeit, welche in der Luft enthalten ist, wird nun nach und nach auf dem ...ten Glase niedergeschlagen, zunächst als dünner Überzug, der durch ...inzukommende Flüssigkeit zu Tropfen zusammenfließt, an dem ab-


Fig. 164.

...isschenbroek, a. a. O. I. S. 14.

schüssigen Glase langsam herabrinnt und abtropft. Das vom Instrumente ablaufende Wasser fängt ein hoher cylindrischer, mit Teilung versehener Becher auf«. Auch zählten wohl die Akademiker die in einer bestimmten Zeit herabfallenden Tropfen. Sie waren sich darüber klar, dass diese Zahl von Nebenumständen beeinflusst wird, erhielten aber damit qualitativ brauchbare Resultate.

Als Zeitmesser benutzten sie selbstverständlicher Weise das Pendel, jedoch nicht ohne vorher einige wichtige Verbesserungen daran anzubringen. Sie hatten beobachtet, dass ein an einem Faden hängendes Pendel nach

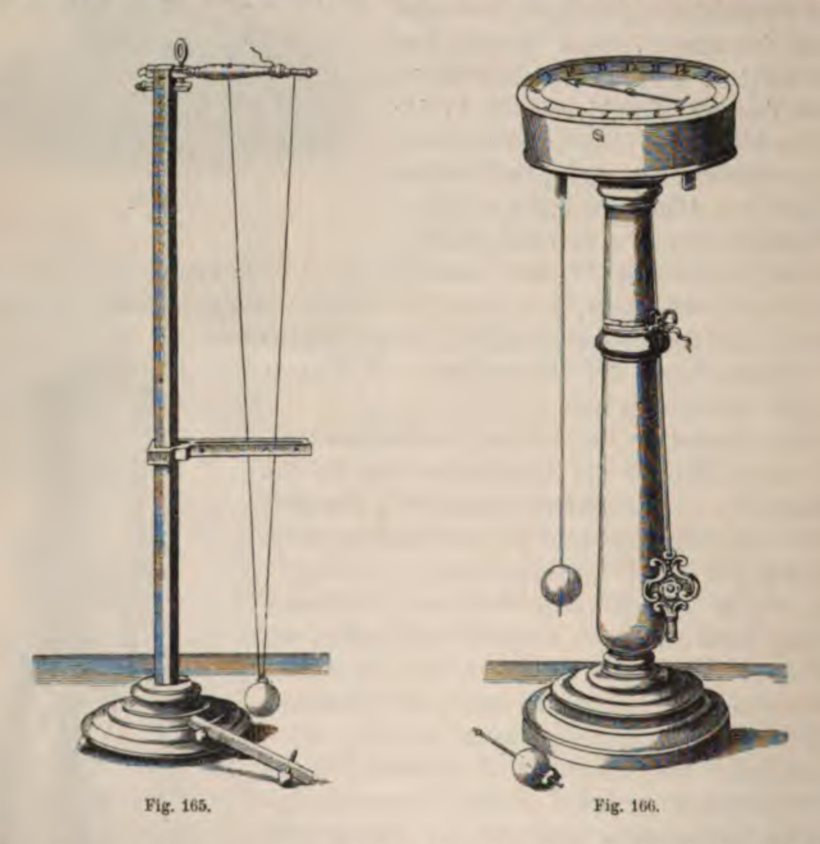


Fig. 165. Fig. 166.

und nach von seiner ursprünglichen Bahn abwich und elliptische Schwingungen auszuführen begann, welche schwer auseinander zu halten und somit zu zählen waren. Fig. 165 zeigt, dass sie sich dagegen in der nämlichen Weise sicherten, wie man es auch jetzt noch thut, sie wendeten eine bifilare Aufhängung an. Auch hatten sie einen Schieber angebracht mit einem Schlitz, durch welchen die Pendelfäden gingen. Mit seiner Hilfe war es leicht, dem Pendel jede beliebige Länge zu geben.

Um kleinere Zeitteile zu messen, benutzten sie die Uhr, welche, »als erster von allen, Galilei erfand und welche 1649 dessen Sohn Vincentius

Galilei zur Ausführung brachte«[1]). In ihr war das Pendel durch die Kraft eines Rades (rotae, Feder?) oder eines Gewichtes gezwungen, immer von derselben Höhe herabzufallen und so genau isochrone Schwingungen auszuführen. Um Zeiten von verschiedener Länge beobachten zu können, wandten sie verschieden lange Pendel an, von denen die kürzesten eine volle Schwingung (einen Hin- und Hergang) in einer halben Sekunde ausführten. Die Abhängigkeit der Schwingungszeit von der Amplitude hatte nach ihrem Zeugnis bereits Galilei beobachtet und sie hatten deshalb die obige Regel gegeben. »Hier ist zu bemerken«, so teilen sie ihre Entdeckung mit[2]), »dass die Erfahrung gezeigt habe (wie auch von Galilei beobachtet ist, nach der Beobachtung, die er um das Jahr 1583 über deren sehr nahe Gleichheit machte), dass alle Pendelschwingungen nicht genau in den nämlichen, unter sich gleichen Zeiten vollführt werden, denn je mehr sie nach der Ruhelage streben in desto kürzerer Zeit führen sie sie aus«. Die Einrichtung der Uhr, welche Fig. 166 darstellt, teilen sie nicht mit; die treibende Kraft scheint eine gespannte Feder, der Hebel links mit Griff zum Aufziehen bestimmt gewesen zu sein. Vielleicht konnte man das lange Pendel mit dem daneben liegenden kürzeren vertauschen und so verschiedene Zeiteinheiten zählen lassen.

4. Ausdehnung durch die Wärme, Zusammendrückbarkeit des Wassers.

Bei ihren vielfachen Untersuchungen hatten die Akademiker so oft das Wasser frieren lassen oder erwärmen müssen, dass ihnen notwendig die Eigentümlichkeiten, welche es bei diesen Vorgängen zeigt, aufgefallen waren. Sie stellten sich nunmehr auch die Aufgabe, diese Erscheinungen genauer zu erforschen und suchten sie auf das umsichtigste, indem sie sie nach allen Richtungen hin verfolgten, zu lösen.


Fig. 167.

Zunächst bestrebten sie sich über die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren klar zu werden. Sie ließen es in Gefäßen, welche aus den verschiedensten Stoffen bestanden, erstarren und fanden, dass sie ohne Ausnahme gesprengt wurden, wenn sie ganz mit Wasser gefüllt waren. Die Kraft, mit der dies geschah, vermochten sie allerdings nicht zu messen. Als sie dann die Ausdehnung von reinem Wasser und von Lösungen organischer Körper in einer großen Kugel mit engem Rohre untersuchten, wie sie Fig. 167 darstellt, bemerkten sie, dass die Flüssigkeit in dem engen Rohre, wenn das Gefäß in eine kalte Flüssigkeit getaucht wurde, zunächst ein

1) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 20.
2) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 20.

wenig stieg, um dann erst zu fallen, eine Thatsache, die sie den Sprung beim Eintauchen, den »Saltus immersionis« nannten [1]). Den umgekehrten Vorgang sahen sie beim Erwärmen des Apparates eintreten. Sie schlossen aus beiden Beobachtungen mit Recht, dass die Zusammenziehung und Ausdehnung der Glaskugel die Ursache der überraschenden Erscheinung sein müsse und fanden ihre Annahme durch eine Reihe von Versuchen in der That bestätigt. Brachten sie, wie beim »Florentiner Versuch« hermetisch geschlossene Glaskügelchen von nahe demselben spezifischen Gewichte wie Wasser in die Glaskugel, so verhielten sich diese wie das Wasser. Sie stiegen beim Abkühlen erst empor und sanken dann erst herab, führten beim Erwärmen die umgekehrten Bewegungen aus, während die Flüssigkeit den Sprung beim Eintauchen beobachten ließ.



Figg. 168 und 169.

Figg. 170 und 171.

Solche Beobachtungen führten die Akademiker auf die Untersuchung der Ausdehnung verschieden geformter fester Körper durch die Wärme. Die Ausdehnung eines metallischen, innen kegelförmig ausgearbeiteten Ringes, Fig. 168, der bei etwas erhöhter Temperatur auf die ebenso geformte Erhöhung des Ständers, Fig. 169, passte, wiesen sie nach, indem sie den Ring erhitzten und um die kegelförmige Erhöhung auf dem Ständer legten. Er ließ sich um sie bequem hin- und herschieben, setzte sich aber beim Abkühlen so fest auf, dass er zuletzt nur mit der größten Anstrengung abgenommen werden konnte [2]).

Dass sie freilich über den eigentlichen Vorgang keineswegs klar waren, bewies der Versuch, den sie im Anschluss an den besprochenen anstellten. Sie schoben auf einen metallischen kegelförmigen, glatt abgearbeiteten Körper, Fig. 170, einen Ring von Buxbaumholz, Fig. 171, der innen ebenfalls sorgfältig geglättet und poliert war und bemerkten, bis zu welchem der auf dem Metallkegel in gleichem Abstande eingerissenen Ringe der Holzring herabzuschieben war. Darauf legten sie den Ring einige Tage in Wasser und fanden, dass er nun weiter herabging. Dies Ergebnis erhielten sie aber nur dann, wenn der Ring senkrecht zu den Fasern aus dem Holze gedreht war, hatte man ihn parallel zu ihnen herausgearbeitet,

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 3.
2) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 4 ff.

so wurde er elliptisch und ließ sich dann weniger tief auf den Metallkegel herabschieben[1]). Es scheint also, als hätten sie die Ausdehnung durch die Wärme und das Quellen des Holzes durch das Wasser für zusammengehörige Vorgänge angesehen.

Die Ausdehnung eines hohlen ringförmigen Rohres studierten sie mit Hilfe des Apparates, den Fig. 172 darstellt. Um beim Eingießen des warmen oder kalten Wassers, welches dem Rohre seine Temperatur erteilen sollte, der Luft Austritt zu verschaffen, war das Rohr an den Enden eines Durchmessers mit Trichtern versehen. Ein Kreuz aus zwei Messruten von der Länge des Durchmessers, ließ die Ausdehnung durch Einfüllen von heißem und die Zusammenziehung durch kaltes Wasser, ja durch eine Salzlösung, welche unter den Schmelzpunkt des Eises abgekühlt war, beobachten[2]).

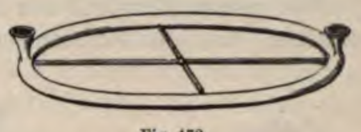


Fig. 172.

Eine Reihe weiterer Versuche sollte über die Ausdehnung von Metallen Klarheit schaffen. Diesem Zwecke diente der Apparat Fig. 173. Eine dünne Zinnplatte wurde im Halbkreise zusammengebogen und die Entfernung der Spitzen vor und nach ihrer Erhitzung auf einem Kohlenfeuer bestimmt. Nahmen sie statt des Zinnbogens einen solchen von Glas,



Fig. 173.



Fig. 174.

zwischen dessen Arme eine Saite so gespannt war, dass sie einen bestimmten Ton gab, so erniedrigte ein Erhitzen der Mitte den Ton, während ein Abkühlen derselben Stelle ihn höher werden ließ. Hingen sie an der Mitte der Saite eine Bleikugel so auf, dass sie die horizontal gelegte Oberfläche eines Spiegels kaum berührte, so sahen sie bei derselben Art der Erhitzung und Abkühlung die Kugel im ersten Falle sinken, im zweiten [illegible] Ebenso verlängerte sich ein mit einer Bleikugel beschwerter Draht [illegible]wärmen, sanken kegelförmige Metallkörper, Fig. 174, die vor dem

[1]) [Mu]sschenbroek, a. a. O. II. S. 7.
[2]) [Mu]schenbroek, a. a. O. II. S. 8ff.

Erwärmen bis zu einem bestimmten, der auf ihrem Mantel in gleichen Abständen gezogenen Kreise in die kreisförmige Öffnung einer Metallplatte hereingegangen waren, weniger tief ein[1]).

Bei allen diesen Versuchen betrachteten die Akademiker die Wärme als ein etwas, was die Körper durchdringe, ohne sich weiter über ihr Wesen auszusprechen. Doch mag die Annahme, dass die Wärme ein Stoff sei, wohl die ihren Anschauungen zu grunde liegende gewesen sein.

Die genaue Kenntnis der Ausdehnung des Glases benutzten die Akademiker, um die Zusammendrückbarkeit des Wassers zu untersuchen. Wenn diese Versuche auch ergebnislos verliefen, so lag dies nicht an den Experimentatoren, die ebenso scharfsinnig, wie umsichtig verfuhren, sondern an der Kleinheit des zu beobachtenden Wertes, für welche ihre Apparate nicht ausreichten. Die Versuche selbst haben aber auch jetzt noch großes Interesse. Auf dreierlei Weise suchten sie ihre Aufgabe zu lösen[2]). Sie füllten die große Kugel B (Fig. 175) und die kleinere C, die in geteilte Rohre ausliefen, bis D und E mit Wasser und schmolzen sie dann bei A so zusammen, dass die geteilten Rohre miteinander und durch das zur Spitze ausgezogene Rohr AF mit der äußeren Luft in Verbindung standen. Alsdann umgaben sie den ganzen Apparat mit Eis und verschlossen die Öffnung bei F mittels der Stichflamme. Indem sie nun das Wasser in der Kugel B langsam bis zum Sieden erwärmten, während das in C auf der Temperatur des schmelzenden Eises blieb, sahen sie das Wasser aus B in AB emporsteigen und endlich die Luft bis G in AC zurückdrängen, konnten aber trotzdem nicht die geringste Volumenverminderung des Wassers in EC beobachten. Es behielt seine Stellung bei E unverrückt bei, bis der Boden der Kugel C zerbrach. Als sie dann die Glaskugeln B und C durch Kugeln aus Kupfer ersetzten, so hielten diese den Druck zwar aus, dafür zerbrach aber nun das

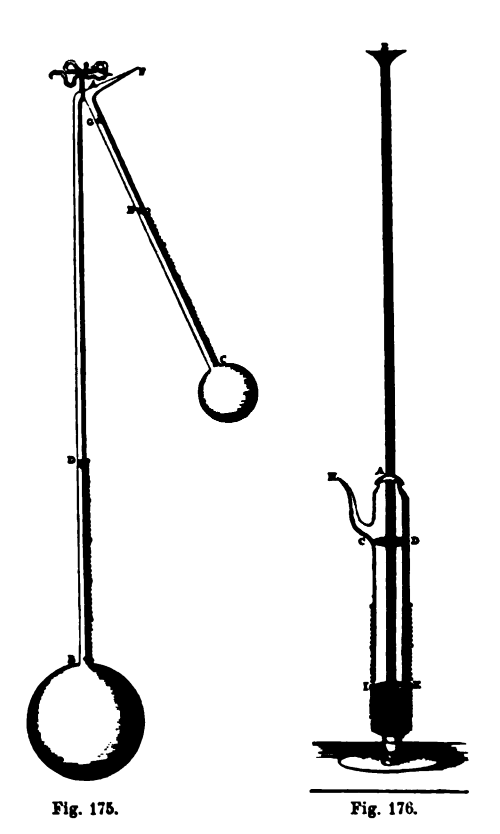


Fig. 175. Fig. 176.

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 8 ff. 2) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 59 ff.

Glasrohr EC, das sie unmöglich durch ein Rohr mit undurchsichtigen Wänden ersetzen konnten.

Nachdem dieser Versuch missglückt war, versuchten die Akademiker durch Anwendung von Quecksilberdruck weiter zu kommen. Der in Fig. 176 dargestellte Apparat zeigt, wie sie damit zu verfahren gedachten. In das mit der ausgezogenen Spitze H und auf beiden Seiten mit Teilungen versehene cylindrische Gefäß AB wurde mittels einer Bleidichtung das Glasrohr EF eingesetzt und darauf, während H noch offen war, das Gefäß bis etwas unter CD mit Wasser gefüllt. Durch den Trichter E wurde nun Quecksilber zugegossen, bis das Wasser bis A und endlich bis H gestiegen war, dann H zugeblasen. Wurde nun in EF weiter Quecksilber eingegossen, so musste sein Spiegel bei IK steigen, wenn sich das Wasser zusammendrücken ließ. Trotz der größten Aufmerksamkeit konnten aber die Akademiker nicht die geringste Änderung des Quecksilberspiegels beobachten, obwohl sie 20 Pfund Quecksilber in die 4 Cubiten (über 7′ rheinl.) lange Röhre gossen.

Das Misslingen dieser beiden Versuche ließ sie nach kräftigeren Mitteln sich umsehen, welche das Wasser zusammendrücken könnten. Sie stellten also den berühmten Versuch an, bei dem sie eine mit Schraubenverschluss versehene Kugel aus Silberblech, die Fig. 177 zeigt, mit Wasser füllten, auf die Schmelztemperatur des Eises brachten und fest verschraubten. Als sie dann von allen Seiten leicht mit dem Hammer darauf schlugen, so dass die Kugel voller Beulen wurde, drang das Wasser in kleinen Tröpfchen durch das Silber hindurch und so schien auch dieser Versuch eher gegen als für die Annahme zu sprechen, dass das Wasser zusammengedrückt werden könne.



Fig. 177.

Dass sie trotzdem keinen der beiden möglichen Schlüsse zogen, sondern die Frage für eine noch offene erklärten, lässt die Vorsicht, mit der sie arbeiteten, in vorteilhaftestem Lichte erscheinen. »Sicher ist«, so beschließen sie den Bericht über ihre Versuche[1]), »dass das Wasser im Vergleich zur Luft einem unendlichmal größerem Drucke widerstehe (wenn man so sagen darf), was also das bestätigt, was wir anfänglich sagten. Wenn freilich auch die experimentelle Forschung nicht immer zur äußersten Wahrheit, welche wir suchen, hinführt, so giebt sie in jedem günstigen oder ungünstigen Falle etwas Licht, sei dies auch noch so wenig.«

5. Schwere, Magnetismus, Geschwindigkeit des Schalles.

In ähnlicher Weise führten auch die Versuche der Akademiker, über die wir noch zu berichten haben, mit Ausnahme der zur Messung der

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 64.

Geschwindigkeit des Schalles angestellten, zu ungenügenden Resultaten. So suchten sie den schon im Altertum entbrannten Streit zu entscheiden, ob die Körper, welche man »leichte« nennt, dies ihrer Natur nach sind, oder ob sie gehoben werden, indem die schweren Körper ihrer Umgebung nach unten drängen[1]). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass das, was die leichten Körper hebt, etwas anderes als die Leichtigkeit ist.

Darauf, dass ihre magnetischen Versuche[2]) viel Neues brächten, haben sie selbst keinen Anspruch gemacht. Doch zeigten sie, dass außer Eisen und Stahl kein fester oder flüssiger Körper, welcher zwischen das Eisen und den Magnet gebracht wurde, des letzteren Wirkung ändert. Um zu zeigen, dass der Durchgang durch eine Flüssigkeit die magnetische Kraft nicht verändere, bedienten sie sich bereits der Ablenkung einer Bussolennadel durch einen seitlich in senkrechter Richtung zur Achse der Nadel aufgestellten Magneten. In ähnlicher Weise suchten sie übrigens die anziehende Wirkung eines geriebenen Stückes Bernstein auf andere Körper festzustellen[3]).

Um die Geschwindigkeit des Schalles zu bestimmen, wiederholten sie die Versuche darüber, wie sie bereits Gassendi (1592—1655) angestellt hatte, in etwas erweiterter Form. Sie fanden den gleichen Wert wie ihr Vorgänger, nämlich 1077′ par. und bestätigten, dass die Geschwindigkeit des Schalles eine konstante Größe sei und benutzt werden könne, um Entfernungen zu messen[4]). Ebensowenig wie diese erforderten die Versuche über Geschosse[5]), über die Geschwindigkeit des Lichtes[6]) und über Brennspiegel besondere experimentelle Vorrichtungen. Hinsichtlich der Versuche, die die von Galilei bereits aufgeworfene Frage, ob das Licht Zeit braucht, um sich auszubreiten oder nicht, beantworten sollten, sei nur noch die Art erwähnt, wie sie experimentierten. Im Abstande von einer Meile waren zwei Beobachter aufgestellt, neben Lichtquellen, die auf beiden Stationen gut sichtbar waren. Bedeckte nun der eine Beobachter sein Licht, so war der andere angewiesen, dasselbe zu thun, sobald er das Verschwinden des Lichtes bemerkte. In demselben Augenblick verschwanden also beide Lichter und der mit dem Versuche beginnende Beobachter

---

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 69.

2) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 74.

3) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 81.

4) Die gleichzeitigen oder wenig späteren Angaben über die Geschwindigkeit des Schalles hat Derham in Philos. Transact. No. 313. 1708. S. 2 zusammengestellt. Sie sind bestimmt worden von den Florentinern zu 1142′ engl. (349,9 m), von Roberts zu 1300′ (396,3 m), Boyle zu 1200′ (365,7 m), Walker zu 1338′ (407,9 m), Mersenne zu 1474′ (449,2 m), von französischen Gelehrten zu 1172′ (357,2 m), von Flamsted und Halley zu 1142′ (348,1 m), während sie Newton in seinen Philosophiae naturalis Principiis mathematicis auf theoretischem Wege zu 968′ (292,8 m) berechnet hatte. Auf 0° sind diese Werte selbstverständlich nicht reduziert.

5) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 115.

[illegible] a. a. O. II. S. 183.

hätte somit die Zeit beobachten können, welche das Licht gebraucht hatte, um zwei Meilen zu durchlaufen. In Wirklichkeit freilich konnte er es nicht. Die Geschwindigkeit des Lichtes hätte um viele tausend Meilen kleiner sein können, als sie wirklich ist, ohne dass bei der angewendeten Methode, welche die Geschwindigkeit des Reizes im Nerven einschaltet, aber nicht bestimmt, eine Verzögerung merkbar geworden wäre.

Huygens, Leibniz und Papin.

1. Allgemeine Bemerkungen.

Mit dem Erlöschen der Thätigkeit der Accademia del Cimento hörten auch die Arbeiten der italienischen Forscher auf experimentellem Gebiete mehr und mehr auf. Zwar wirkten noch tüchtige Mechaniker und Optiker wie Guiseppe Campani oder Eustachio Divini[1] in Rom, ersterer besonders berühmt durch die großen und vortrefflichen Linsen[2], die er herstellte; zwar wurde noch die Kunst, Thermometer zu verfertigen [illegible] von den Italienern geübt, italienische Mechaniker und Optiker [illegible] sich überall an und nicht wenige solcher Firmen [illegible] vor einigen Jahrzehnten italienische Namen, aber [illegible] keit Italiens auf wissenschaftlichem Gebiete war [illegible] und wie die von Italienern hergestellten Thermometer [illegible] wertigkeit bald durch die von Fahrenheit [illegible] drängt wurden[3], so war es auch der [illegible] (1629—1695), welcher sich um die M[illegible] tellen Arbeiten zuwendend in [illegible] Akademiker mit der vordringenden [illegible]

Huygens stand in regem Gedankenaustausch [illegible] Hatte er mit jenem eine Reihe [illegible] besser, hatte sie Papin (1647—1712) [illegible] verband ihn mit diesem ein gemeinsames [illegible] lich mathematische Fragen [illegible] eifriger Korrespondenz mit [illegible] großen Zahl anderer F[illegible] lernen hoffen konnte. [illegible] war die Arbeiten, die [illegible] ihn immer — und [illegible] fort. Aber von seinen [illegible] jetzt noch von großen [illegible]

1. Huygens. [illegible]

2. Cöster und [illegible] scher und physikalischer [illegible]

3. Wolf. Acta [illegible]

sondern auch um des anderen willen, dass er alles Wissenswerte seiner Zeit gesammelt und aufbewahrt hat, sind seine nachgelassenen Schriften eine Fundgrube für die Entwickelungsgeschichte der Physik und Technik. Bei dieser Sachlage wird es am geeignetsten sein, die drei genialen Männer zusammen zu betrachten, womit freilich nicht ausgesprochen sein soll, dass ihre Bedeutung für den Fortschritt der Wissenschaft die gleiche gewesen ist.

Ihnen gegenüber steht Newton, der in Wissenschaft und Leben ihr Gegner gewesen ist. Während aber der berühmte Engländer auf seine Zeitgenossen einen durchaus bestimmenden Einfluss ausübte, so war derjenige jener drei Erstgenannten nur gering. Sie haben das gemeinsame Schicksal gehabt, dass erst unser Jahrhundert, indem es die Newtonschen Fesseln sprengte, ihnen gerecht geworden ist, und es ist kein geringer Ruhm für sie, dass die neuere Forschung in nicht wenigen Gebieten da wieder anknüpfte, wo jene sie gelassen hatten. So steht auch in unserer Betrachtung ihnen Newton gegenüber als Ausgangspunkt der Arbeiten des 18. Jahrhunderts.

2. Huygens' Erfindung der Pendeluhr.

Sogleich bei Gelegenheit seiner ersten Arbeit musste Huygens den Schmerz erleben, des Plagiats an dem von ihm so hoch verehrten Galilei geziehen zu werden. Dass der große Florentiner das Pendel zur Zeitbestimmung hatte verwenden wollen, war ihm bekannt. Hatte Galilei doch mit den Generalstaaten Verhandlungen gepflogen, die die Lösung der Aufgabe, wie auf der See genaue Längenbestimmungen ausgeführt werden könnten, zum Gegenstand gehabt hatten. Aber die Unterhandlungen, an denen Huygens' Vater wenigstens indirekt Teil genommen hatte, hatten sich zerschlagen und man glaubte nicht anders, als dass die Lösung der genannten Aufgabe dem großen Florentiner nicht gelungen sei. Dass er eine Pendeluhr erfunden hätte, daran konnte niemand denken, um so weniger als auch Viviani in seiner 1654 veröffentlichten »Vita di Galileo Galilei« nichts davon erwähnte. Die Wichtigkeit der Lösung der Aufgabe aber trieb immer wieder zu erneuter Bearbeitung an und ließ sie auch Huygens in Angriff nehmen. Seine Bestrebungen wurden mit Erfolg gekrönt, es gelang ihm in der Pendeluhr einen durchaus zuverlässigen Zeitmesser zu konstruieren, und nicht ohne hohe Befriedigung teilte er seine Entdeckung 1657 in seiner Schrift »Horologium« mit. Aber wie musste er sich getäuscht sehen, als statt der gehofften Anerkennung von Italien sofort Prioritätsansprüche für Galilei einliefen, die sich auf die zugleich in Zeichnung mitgesandte in Fig. 117 dargestellte Pendeluhr Galileis gründeten. Gebührt nun auch der Zeit nach Galileis Erfindung der Vorzug, eine Vergleichung beider Erfindungen bewiese allein schon, dass Huygens die seinige durchaus selbständig ausgearbeitet hat, selbst wenn wir dafür nicht die glaubwürdigsten Zeugen hätten. Denn Galilei hat dem Pendel ein

Uhrwerk zugefügt, Huygens aber den damals üblichen Uhrwerken ein Pendel. Wäre also auch die Galileische Erfindung mit der Huygensschen bekannt geworden, sie hätte sich der letzteren gegenüber doch nicht behaupten können; für ein Billiges an seiner Uhr die Verbesserung anbringen zu lassen, dazu war wohl mancher bereit, der vor der Anschaffung einer neuen Uhr zurückgescheut wäre. Die erste Erfindung Huygens' aus dem Jahre 1657 zeigt Fig. 178[1]). Ein Vergleich mit den in damaliger Zeit üblichen Uhrwerken, wie ein solches in Fig. 75 abgebildet ist, lässt erkennen, dass Huygens die senkrechte Achse der Hemmungen verkürzte, durch die Blättchen M und N (Fig. 178) aber nach wie vor die Bewegung des Steigrades hemmen ließ und durch Zugabe des Kronrades P und des Getriebes O die Anbringung des Pendels möglich machte. 18 Jahre später änderte er diesen ersten Entwurf in den in Fig. 179, S. 180, dargestellten ab; er legte die die Hemmungen L tragende Stange horizontal und schaltete die Räder H und I zwischen sie und das Räderwerk ein. Großes Gewicht legte er von vornherein auf die Art der Aufhängung des Pendels, wie aus seinen brieflichen Äußerungen über die Priorität Galileis folgt[2]). Er verwarf die Aufhängung mittels einer Achse und wählte statt ihrer einen Faden, der zwischen zwei Metallbarren mittels einer Schraube festgeklemmt wurde, wie Fig. 178 zeigt, oder zwei ebenso befestigte Fäden, welche Aufhängung aus Fig. 179 und 180, S. 180, ersehen werden kann. Die Verbindung des Pendels mit dem Werke erreichte er mittels einer Gabel QR (Fig. 178), MSV (Fig. 179). Sie ist bis zum heutigen Tage beibehalten. Da er gefunden hatte, dass ein Pendel, dessen Aufhängefaden sich längs zweier nach Cykloiden gekrümmten Balken anlegt, isochron bei jeder Schwingungsweite schwingt, so brachte er solche

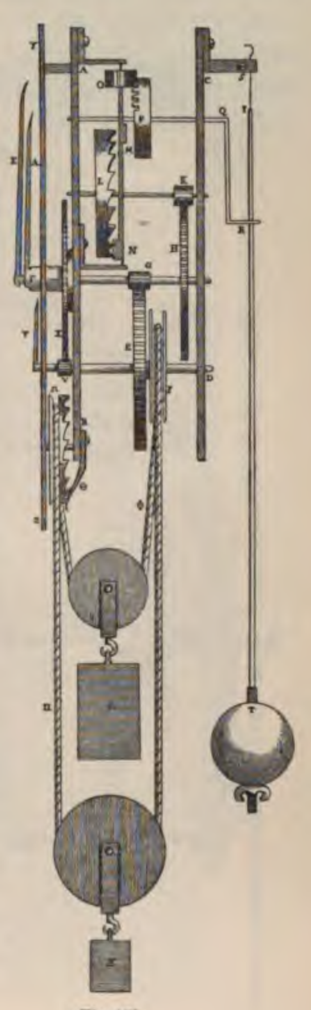


Fig 178.

1) Chr. Huygens, Horologium. Opera varia. Vol. I. S. 1. Die Schrift erschien 1658, nachdem Huygens bereits 1657 von den Generalstaaten ein Patent auf seine Erfindung erhalten hatte.

2) Huygens, Oeuvres complètes. Bd. II. S. 406 und Bd. III. S. 12. Brief an Boulliau vom 14. Mai 1659 und 22. Januar 1660.

Backen T (Fig. 179 und 180) an, ließ sie aber später wieder weg, weil ja die Schwingungsweite und somit auch die Schwingungsdauer des Uhrpendels ihren Wert behält. Das Pendelgewicht machte er beweglich oder

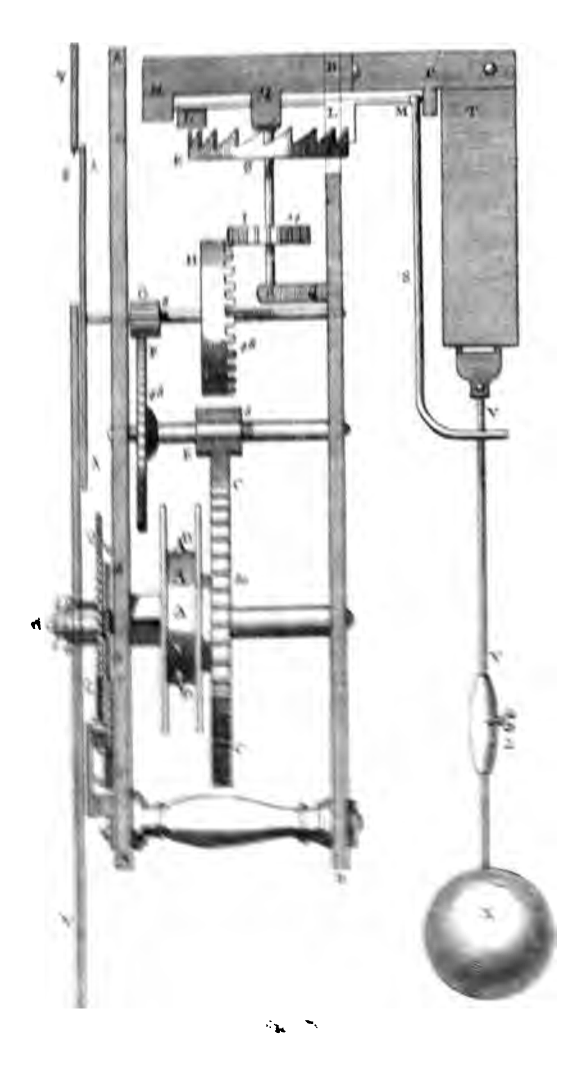


Fig. [illegible]



Fig. 180.

brachte an die Pendelstange ein Laufgewicht, um die Pendellänge regulieren zu können. Endlich fügte er die aus Fig. 178 ersichtliche Einrichtung hinzu, die auch während des Aufziehens der Uhr ihr Gewicht auf das Pendel wirken zu lassen gestattet. Dies wird mit Hilfe der beiden festen Rollen Ω und F und der beiden, die Gewichte Ξ und [illegible] tragenden losen Rollen bewirkt, um welche die [illegible] Schnur [illegible] O [illegible] ein Sperrad, das dem [illegible] Drehung [illegible] lässt. Beim Aufziehen [illegible] mindert und so das [illegible] die Spannung in O [illegible]

[illegible] durch Anbringung eines [illegible] nach Huygens Vorgang [illegible] konnte [illegible] die

Anwendung der Pendeluhr bald eine allgemeine werden. Fig. 181 dürfte beweisen, dass man sofort nach dem Bekanntwerden der Huygensschen Schrift in solcher Richtung vorging. Das Original dieser Figur wurde Huygens zugleich mit der in Fig. 117 dargestellten Uhr Galileis durch Vermittelung des Pariser Mathematikers Boulliau (1605—1694) vom Prinzen Leopoldo von Medici übersandt[1]). Sie trug die Bezeichnung: »Figure de l'horloge à pendule qui est a Florence dans le vieil palais de Medici«

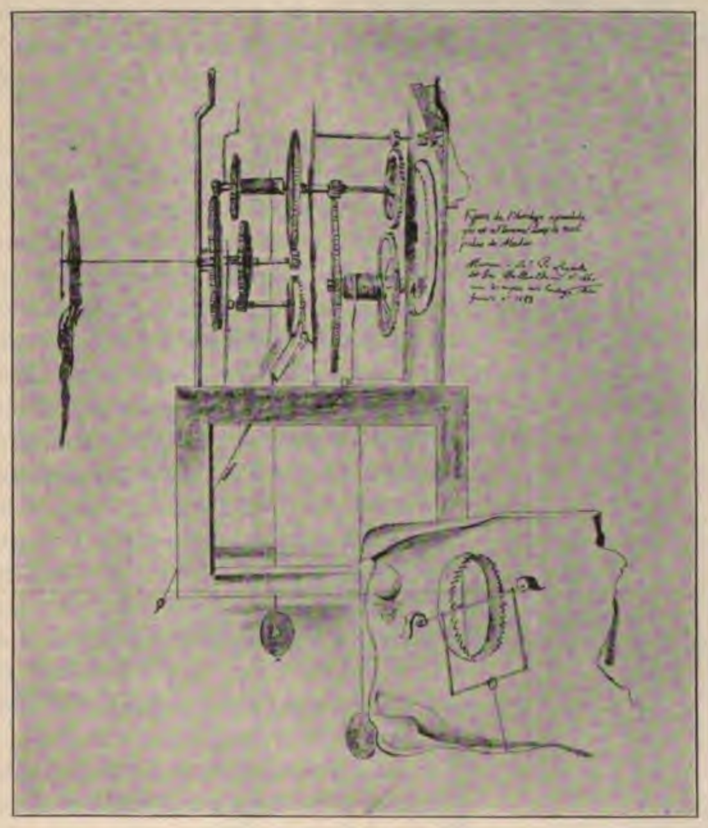


Fig. 181.

und Huygens hat darunter gesetzt: »Missum a Sr° Pr. Leopoldo ad Dm Bullialdum a° 1660 cum descriptio mei horologii edita fuisset a° 1658.« Es fällt dabei die Art, wie das Pendel mit dem Steigrad in Verbindung gebracht worden ist, auf, die an Einfachheit noch den zweiten Huygensschen Entwurf übertrifft, und es macht fast den Eindruck, als sei, um es anzubringen, das vorhandene Uhrwerk nur umgedreht worden. Wenigstens dürfte die unzweckmäßige Lagerung der das Gewicht tragenden

1) Huygens, Oeuvres complètes. Bd. III. S. 14.

Walze über den beiden Achsen dafür sprechen. Weiteres ist über dieses Uhrwerk nicht bekannt; doch scheint es als eine Anwendung der Huygensschen Erfindung auch von den Italienern angesehen worden zu sein, wenigstens erhoben sie auf diese Uhr hin keine Prioritätsansprüche zu Ungunsten von Huygens. Vielmehr erwähnt Viviani[1]) ausdrücklich, dass Ph. Treffler unter Benutzung der Huygensschen Erfindung, sowie einer von Generini (1593—1663) verbesserten Konstruktion des Galileischen Entwurfes, einige in Florenz vorhandene Uhren umgestaltet habe, so dass die zu des ersten Gunsten wohl auch gemachten Ansprüche auf einen Anteil an der Erfindung der Pendeluhr sicher unbegründet sind.

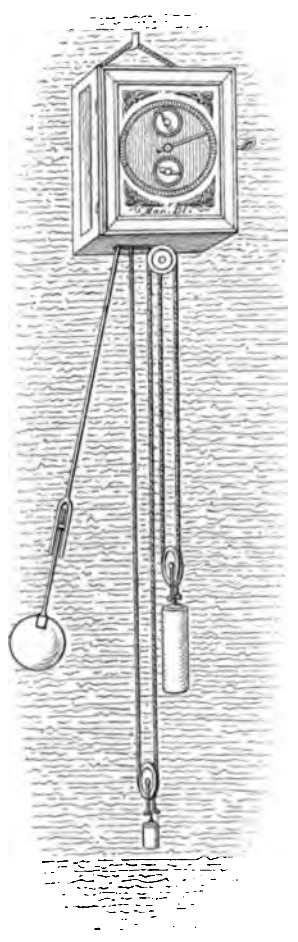


Fig. 182.

Nach seinem Plane ließ nun Huygens von Thuret in Paris eine Uhr anfertigen. Sie dürfte schwerlich erhalten sein. Die im physikalischen Kabinet der Universität Leiden vorhandene, welche der Überlieferung nach die erste Huygenssche Pendeluhr sein soll, ist dieses offenbar nicht, da sie bereits die cykloidalen Streifen besitzt, aber auch außerdem in ihren Einzelnheiten mit dem späteren Entwurf übereinstimmt, wie ein Blick auf die sie darstellende Fig. 182 erkennen lässt.

Auch die Aufgabe, die Längen auf dem Meere zu bestimmen, suchte Huygens mit der Pendeluhr zu lösen. Er benutzte 1673 dazu die in Figg. 183 und 184 dargestellte Einrichtung, die er folgendermaßen beschreibt: »Das Pendel[2]) hat die Form eines Dreiecks, an dessen sich unten befindender Spitze eine Linse aus Blei angebracht ist. Die Winkel auf beiden Seiten sind zwischen cykloidalen Platten an Schnüren aufgehängt. Die Grundlinie wird in der Mitte von einer zweizinkigen Gabel gehalten und von ihr bewegt, diese aber erhält ihre Bewegung von einem horizontalen Zahnrade. Die Bewegung sämtlicher Räder geht nicht von einem Gewichte, sondern von einer stählernen, in einer Kapsel eingeschlossenen Feder aus. In der beigefügten Fig. 183 ist ABC das dreieckige Pendel, B die Linse aus Blei, ED, FG die cykloidalen Platten, HK die

1) Alberi, Le Opere di Galileo Galilei 1856. Supplement. S. 341.
2) Hugenii, Opera varia. Vol. I. S. 50.

zweizinkige Gabel, N das Steigrad, welches das am tiefsten gelegene von den Rädern der Pendeluhr ist. LL sind kleine Linsen zur Regulierung der

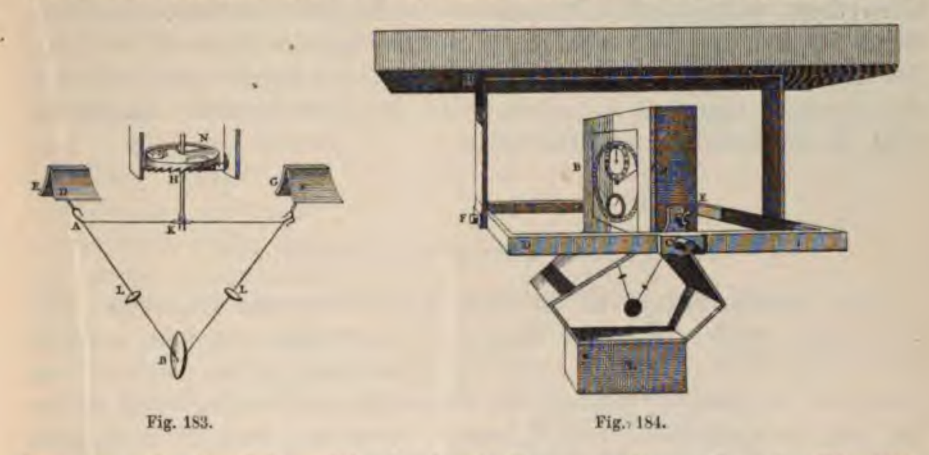


Fig. 183. Fig. 184.

Bewegung des Pendels.« Die Art der Aufhängung dieser Uhr zeigt Fig. 184. Sie ist um zwei zu einander senkrechte Achsen drehbar, die eine durch F, die andere durch C gehend und von dem festen eisernen Rahmen $FHKG$ und dem beweglichen $FDGE$ getragen. Der mit dem Uhrkasten ein Ganzes bildende Behälter L schließt ein Gewicht von 50 Pfund ein, so dass die Uhr bei allen Schwankungen des Schiffes ihre senkrechte Lage beibehält. Indessen schien die Vorrichtung noch nicht zufriedenstellend genug

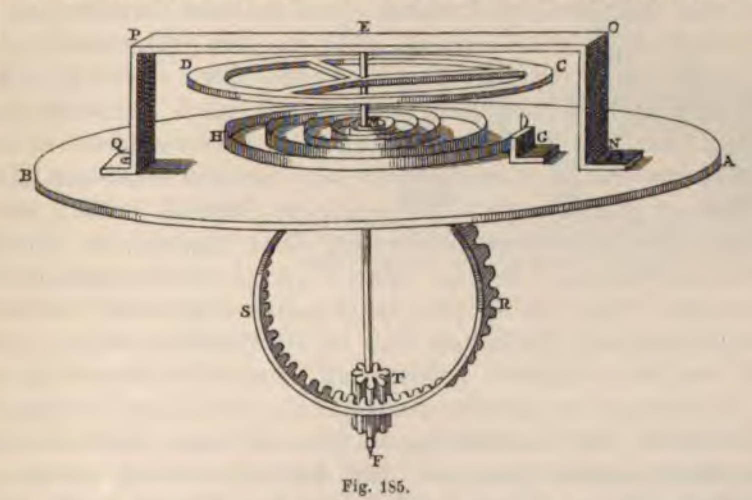


Fig. 185.

zu arbeiten, und so ersetzte **Huygens** sie und das in senkrechter Ebene schwingende Pendel durch die verbesserte Unruhe, die er 1675 mitteilte. Fig. 185 stellt sie dar. DC ist die Unruhe[1]), GH die nur mit ihren

1) Journal des Sçavans. IV vom 25. Febr. 1675. Amsterd. 1677. S. 68. Auch **Hugenii**, Opera varia. Vol. I. S. 253.

Enden befestigte, sonst ganz freie Feder, deren Elastizität die Wirkung der Schwere beim gewöhnlichen Pendel ersetzt. *RS* ist eines der Räder des Uhrwerkes, welches seine Bewegung von der die Uhr treibenden Feder durch das Rad *T* erhält. Federuhren mit Horizontalpendeln von der Form des abgebildeten hatte man längst. Die behufs der Regulierung der Pendelschwingungen zugefügte Spiralfeder *GH*, die jetzt in keiner Taschenuhr fehlt, ist die Erfindung von Huygens.

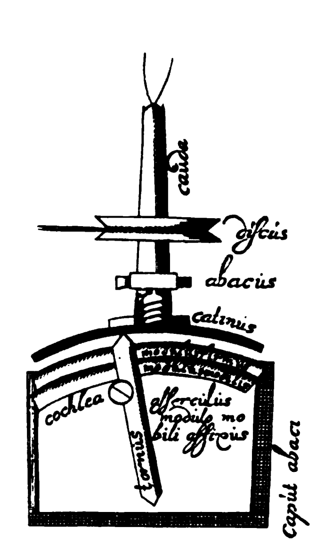
3. Huygens' Linsen und Fernröhre.

Etwa gleichzeitig mit den Arbeiten zur Verbesserung der Uhren, eher noch etwas früher, hatte sich Huygens, unterstützt von seinem älteren Bruder Constantyn (1628—1697) der Herstellung großer Glaslinsen zugewendet, welche als Objektive für astronomische Zwecke dienen sollten. Es sind noch eine Zahl solcher Linsen vorhanden, doch sind dieselben außer der, mit welcher Christiaan am 25. März 1655 den ersten Saturnmond entdeckte[1]), Werke von Constantyn. Sie war lange verloren und ist erst vor etwa 30 Jahren in Utrecht wieder aufgefunden worden. Ein an ihrem Rande eingegrabenes Anagramm ließ sie leicht erkennen.

Die Art, wie die Brüder Huygens ihre Linsen herstellten, hat uns Christiaan in einer besonderen Schrift: Commentarii de formandis poliendisque vitris ad Telescopia aufbewahrt[2]). Die ersten Unterweisungen hatte er von dem Lütticher Professor Gerhard van Gutschoven (1615—1668) erhalten, dessen Kenntnisse wohl von den Brillenmachern, deren Kunst in den Niederlanden, wie wir gesehen haben, blühte, herrühren mochten[3]). Um den Linsen die richtige Gestalt geben zu können, musste man sie in einer Form schleifen, die zunächst zu verfertigen war. Dazu wurde eine kupferne oder eherne Platte oder eine aus demselben Materiale in roh passend gemachter Gussform gegossene Schüssel (catinus) zunächst ausgedreht. Zu ihrer weiteren Bearbeitung diente Fig. 186, ein einer Drehbank ähnlicher Apparat, den die untere Figur als Ganzes darstellt, während die obere Figur den Support im Grundrisse giebt und die Schüssel und die sie tragende Welle zum Teil im Durchschnitte zeigt[4]). An die Schüssel war eine Schraube gelötet, mit deren Hilfe sie an der Welle (cauda) befestigt werden konnte, die Welle aber wurde auf der einen Seite von einer Spitze, auf der anderen von einer als Lager dienenden durchbohrten Platte (abacus) getragen. Die durch Schnurlauf zu bewegende Riemenscheibe (discus) saß auf der Welle, an ihren Kopf wurde die Schüssel

1) Hugenii, Opera varia. T. III. S. 523.
2) Hugenii, Opuscula posthuma. Vol. I. S. 205.
3) Huygens, Oeuvres complètes. Vol. I. S. 222.
4) Hugenii, Opuscula posthuma. Vol. I. S. 205.

angeschraubt. Der Support bestand aus einem festen parallelepipedischen Stücke (caput abaci), auf welchem ein Brett (asserrulus modulo mobili affixus) drehbar angebracht war. An seiner der Welle zugewendeten Seite war dies Brett mit einer Leere (modiolus mobilis) versehen, welche an einer zweiten, auf der Unterlage befestigten Leere (modiolus firmus) hergleiten konnte. Die aneinander gleitenden Grenzflächen beider Leeren waren genau nach dem größten Kreis gekrümmt, dessen Rotation um seinen Durchmesser die Gestalt der zu verfertigenden Linse entstehen ließ. Durch die Schraube (cochlea) konnte der Drehstahl (tornus) mit dem Brette und der beweglichen Leere verbunden werden. Wurde nun die Welle in Drehung versetzt, so konnte durch langsames Bewegen der beweglichen Leere und des Stichels die Form ausgedreht werden. Aus einer Platte werden Formen für größere Linsen bequemer mit Schleifsteinen ausgeschliffen, wobei immer genau nachgemessen werden muss, ob die gewünschte Form erreicht wurde.



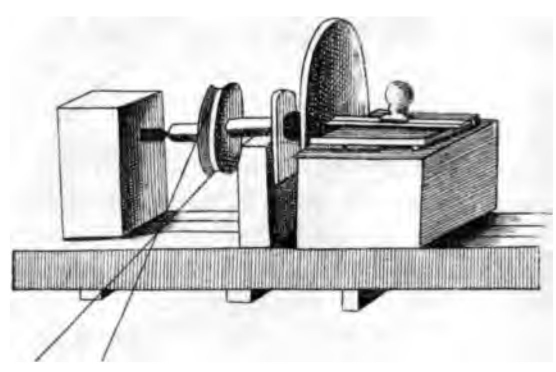


Fig. 186.

Um die Form zu glätten und auszuschleifen, wird sie auf dem aus einem harten, aus Pech und viel Asche bestehenden Überzuge eines runden Steines, dessen Durchmesser ein wenig kleiner ist als der ihrige, abgedrückt. In den durch Erwärmen erweichten Kitt wird dann Smirgel gestreut, zunächst mit einem eisernen Spatel, danach mit der Form fest eingedrückt. Nach dem Erkalten kann man mit dem Steine die Form ausschleifen. Wird der Smirgel stumpf, so wird etwas neuer zugegeben, endlich die Form mit einem feineren Schleifmittel poliert.

Das Glas erhielt Huygens aus den Werkstätten in 'sHerzogenbusch. Als besonders geeignet erwiesen sich Stücke, welche wie die Spiegel hergestellt wurden, nämlich aus Hohlkugeln, die, nachdem ihr Boden abgenommen war, oben und unten aufgeschnitten und im Ofen gerade gestreckt wurden. Durch Abschleifen wurden sie an allen Stellen auf gleiche Dicke gebracht. Ob schädliche Fäden vorhanden waren, wurde bei schief auffallendem Lichte untersucht; Fehler bei Linsen, die fast fertig poliert waren, wurden durch Betrachtung des Spiegelbildes einer Lichtflamme, wenn nötig, mittels eines kleineren Fernrohres, aufgefunden.

Auf das ausgewählte Glasstück zog man dann mit dem Diamanten zwei Kreise, den einen mit dem Radius der Öffnung des Fernrohres, für welches die Linse bestimmt war, den andern mit einem um eine Linie größeren Radius. Größere, über den durch den letzteren Radius bestimmten Kreis hinausgehende Stücke wurden nunmehr mit einem glühenden Eisen abgesprengt oder mittels einer Schraubzwinge abgebrochen, darauf der Rand mit Sand auf einer gusseisernen Spurplatte kreisförmig abgeschliffen. War dies geschehen, so kittete Huygens eine mit einem Loche versehene kupferne Platte auf ihre eine Seite und schliff sie auf einer ebenen Platte ab, nachdem in die Öffnung eine mit ihrem anderen Ende drehbar befestigte lange Stange gesteckt worden war. Ebenso verfuhr er mit der anderen Seite. Alsdann nahm er das Polieren und Überpolieren der Linse in der Form vor. Da er bemerkt hatte, dass ein gleichbleibender Druck notwendig sei, um dies zu bewirken, dass aber die Wärme der die Linse haltenden Hand störend wirken könne, so benutzte er zum Polieren die in Fig. 187 angegebene Maschine. A ist die Form, auf welche die Linse durch die Stange CC gedrückt wird. Den Druck übt das an den Schnüren JJ an den Enden der Stange C, an den Schnüren JJ aber mittels der Schnüre FF befestigte Holzstück DD aus. Durch den Träger M, die Schnur L und die Rolle K, welche die Kurbel Q hin und her dreht, kann CC hin und her geschoben werden. Ein aus dem Sperrrad $Z\Delta$, den Sperrhaken X und Δ und der Glocke Γ bestehendes Zählwerk giebt die Anzahl der Hin- und Hergänge, indem die Glocke bei jeder Umdrehung des Rades, das bei jedem Hin- und Hergang um einen Zahn weiter bewegt wird, einmal anschlägt. Die Nebenfigur zeigt eine Abänderung der Druckvorrichtung, bei der das Gewicht DD durch den Druck der Holzfeder $\beta\alpha\gamma$, der durch den Wirbel ζ geregelt werden kann, ersetzt worden ist. Später suchte Huygens auch einen Vorschlag Hookes zu benutzen und die Linsen ohne Anwendung einer Form zu schleifen. Um das möglich zu machen, sollte das Glas an die eine, die Schleifscheibe an die andere von zweien in Kugelgelenken drehbaren Stangen befestigt werden[1]. Wir werden auf Hookes Maschine zurückkommen, Huygens vermutete, dass in ähnlicher Weise Campani seine vortrefflichen Linsen hergestellt habe[2].

---

1) Huygens, Oeuvres complètes. V. S. 135. 2) Ebenda V. S. 151.

Bei der Vorzüglichkeit der Linsen, die man auf solche Weise zu erhalten im stande war, wäre die Verzerrung ihrer Bilder bei kurzer Brennweite sehr ins Gewicht gefallen. Andererseits aber war es nicht gut möglich, für Linsen von sehr großer Brennweite Röhren herzustellen. Deshalb dachte Huygens 1662 daran[1]), nur die untere Wand des Rohres

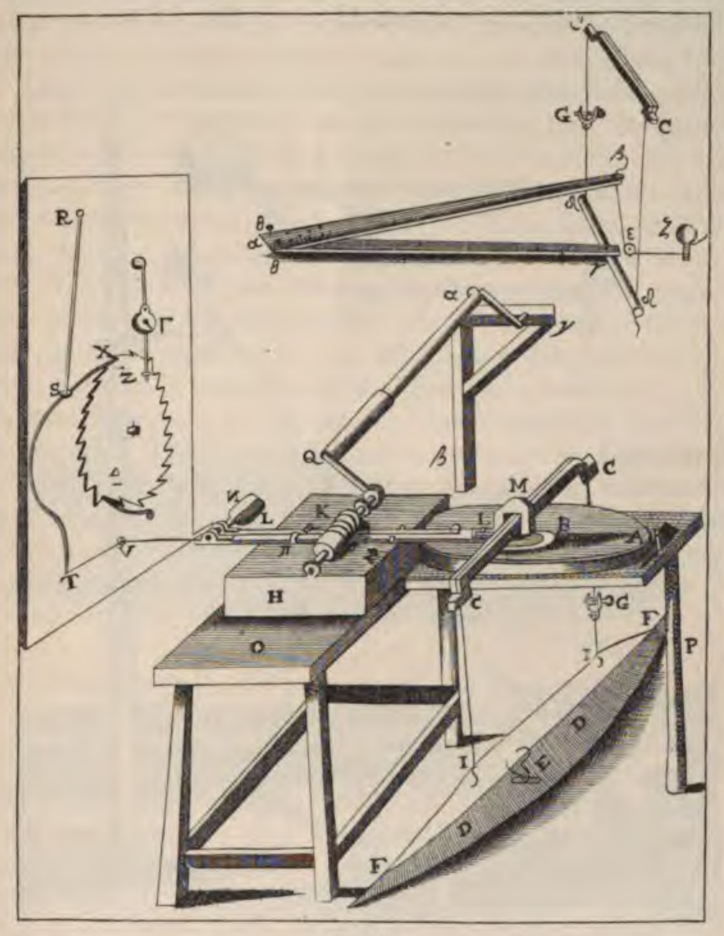


Fig. 187.

beizubehalten, schloss sich aber dann dem im folgenden Jahre gemachten Vorschlage Auzouts[2]) (gest. 1691) an, das Rohr ganz wegzulassen und Objektiv wie Okular jedes für sich allein zu befestigen. Die Art, wie er dies auszuführen gedachte[3]), zeigt Fig. 188, S. 188. In der Nut des Pfahles *ab*

1) Huygens, Oeuvres complètes. IV. S. 227.
2) Ebenda IV. S. 433.
3) Huygens, Journal des Sçavans 6. Dec. 1684. Bd. 12. Amsterdam 1685. Auch Opera varia. I. S. 261.

kann der Schieber *cd* auf und nieder bewegt werden, wenn das an ihm auf beiden Seiten befestigte, über die Rolle bei *a* gehende, mit dem Bleigewichte *h* beschwerte Seil *gg* an dem dieses Gewicht tragenden Teile gezogen wird. Der Schieber trägt das Querbrett *ff* mittels der Stütze *e* und dieses an dem Kugelgelenke *M* das Objektiv *ik*, das durch das Bleigewicht *n* äquilibriert ist. Die es tragende Stange *kl* hat bei *l* einen kurzen biegsamen Stiel mit dem Wirbel *T*, an dem der dünne Seidenfaden



Fig. 188.

LV befestigt ist. Der Faden geht durch die Öse des das Okular *O* tragenden Stabes *PQ* bei *Q* hindurch zum Wirbel *T*; *PQ* ist mit dem Gegengewichte *S* versehen um das Okular zu äquilibrieren. Mit dem Handgriffe *R* hält sich der Beobachter das Okular vor das Auge, indem er sich zugleich auf einen Stock stützt. Zum Einstellen des Okulars dient die Blendlaterne *y*, mit der man es beleuchten kann. Mittels des Fadens *lu* und der Schnur *g* kann das Fernrohr auf jeden Stern gerichtet werden.

Obwohl diese Art zu beobachten wegen ihrer großen Unbequemlichkeit nicht in Gebrauch gekommen ist, so zeigt sie doch, dass Huygens bestrebt war, große und reine Linsen nicht nur herzustellen, sondern auch zu benutzen. Dass sich dies durchaus nicht von selbst verstand, beweist der Irrweg, auf den der als Mathematiker so tüchtige sächsische Graf Tschirnhaus[1]) (1651—1708), und nach ihm der Düsseldorfer Professor Hartsoeker[2]) (1656—1725) gerieten, die noch im Anfange des 18. Jahrhunderts alles gethan zu haben glaubten, wenn sie nur recht große Linsen herstellten. Dass diese aber wegen Fäden und Schlieren ganz unbrauchbar waren, focht sie nicht an, ebensowenig wie die Bemittelten ihrer Zeitgenossen, die sie ihnen abkauften. So sind die Linsen, die sich in vielen physikalischen Sammlungen älterer Zeit, wie sie namentlich die Wissenschaft begönnernde Fürsten zusammenbrachten, noch finden[3]), durch Fäden so völlig unbrauchbar, dass sie das scharfe Bild eines Sternes niemals haben zeigen können[4]). Das gilt nicht nur von den Objektiven, sondern auch von den Okularen. Ihre ganz unnötige Größe, die für das ganze Gesicht, aber nicht für ein Auge bestimmt zu sein scheint, beweist überdies, wie wenig ihre Verfertiger die Wirkungsweise der Fernröhre verstanden. Hält man dagegen, dass Huygens und Campani[5]) zur Vermeidung der sphärischen und chromatischen Aberration ihre Okulare aus mehreren Linsen zusammensetzten, so kann nicht schärfer der Weg der ernsten wissenschaftlichen Forschung von dem des gedankenlosen Forttappens auf missverstandenen Bahnen, die sich indessen schließlich als noch leidlich gewinnbringend anließen, geschieden werden.

4. Huygens' Pendelniveau, seine barometrischen, thermometrischen und optischen Arbeiten.

Obwohl bereits um 1660 der Pariser Akademiker Thevenot (1620—1692) die Röhrenlibelle erfunden hatte[6]) und nichts näher zu liegen schien, als sie mit einem Fernrohre zum Nivellierinstrumente zu vereinigen, so blieb man doch noch für Jahre dabei, zur Erhaltung solcher das Fernrohr in eine zur Vertikalen gelegte Senkrechte einzustellen, die genaue Richtung der Vertikalen aber durch das Pendel zu bestimmen. Butterfield (gest. 1724) hatte bereits 1677 ein solches Pendelniveau angegeben[7]). Als Absehen wurden in

1) Tschirnhaus, Acta Eruditorum. 1697. S. 414.
2) Ch. Wolf, Nützliche Versuche. 1722. II.
3) Cöster und Gerland, a. a. O. S. 44.
4) Vgl. Gerland, Fernröhre: Handwörterbuch der Astronomie. I. Breslau 1897. S. 700 ff. Trewendts Encyklopädie der Naturwissenschaften. III. 2.
5) Huygens, Oeuvres complètes. IV. S. 266.
6) Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877. S. 572. Auch Leibniz nennt sie Instrumentum Thevenotianum. Vol. B³. 7.
7) Wolf, Ebenda. S. 572.

dem Fernrohre seidene Fäden benutzt, welche im Brennpunkte des Objektives verschiebbar aufgestellt waren. Huygens veröffentlichte seinen Apparat, der die nämliche Aufgabe löste, im Journal des Sçavans von 1680, welches aber erst 1682 erschien. In dem nämlichen Bande befindet sich ein ebensolches Instrument von Chapotot abgebildet. 1699 konstruierte Picard[1]) (1620—1682) ein solches Pendelniveau, bei dem das Pendel vor einer Skala sich bewegte und die Einstellung des horizontalen Rohres dadurch ermöglicht wurde, dass dieses ein auf zwei cylindrischen Stützen ruhendes Kugelsegment trug. Auch La Hire[2]) (1640—1718) und Couplet[3]) (1642 — 1722) haben Pendelniveaus angegeben, wohl das letzte noch 1710 Hartsoeker[4]) veröffentlicht. Nachdem man die großen Vorzüge, welche die Röhrenlibelle für den in Rede stehenden Zweck bot, einmal erkannt hatte, kam man von den Pendelniveaus für immer zurück.

In ähnlicher Weise ging es mit den Automaten, die, wie wir sahen, Landgraf Wilhelm IV. eingeführt hatte, um die Bewegung der Himmelskörper bequem verfolgen zu können. Auch Huygens verfertigte 1682 ein solches Planetarium, welches noch in der physikalischen Sammlung der Universität zu Leiden vorhanden ist und durch Bewegung einer Kurbel die gegenseitige Stellung der Planeten in ihren Bahnen auf einer ebenen Fläche giebt. Nicht minder hat sich Leibniz mit der Konstruktion einer solchen Machina coelestis eingehend beschäftigt, ist aber über die Vorarbeiten auf dem Papiere nicht hinausgekommen. Hatten auch ihre Urheber große Freude an den komplizierten Maschinen, hier dürfen wir von einer eingehenden Beschreibung absehen. Der Gewinn stände in keinem Verhältnis zu dem Aufwande von Zeit und Raum, da ja bei noch so sorgfältiger Arbeit die Angaben dieser Automaten nur sehr annähernd zutreffen konnten.

Bedeutungsvoller waren Huygens' Arbeiten über Barometer und einige Vorschläge zur Verbesserung des Thermometers, mit denen er seit 1672 beschäftigt war. Die Ablesungen des Barometers wollte er dadurch genauer machen, dass er auf einen der weiten Quecksilberbehälter, in denen er die Quecksilbersäule des Barometers endigen ließ, Wasser brachte und durch dessen viel größere Schwankungen die des Quecksilbers gleichsam multiplizierte, oder dass er, wenn man so will, den größten Teil des Wassers im 32′ langen Wasserbarometer durch die viel kürzere Quecksilbersäule ersetzte. Fig. 189 zeigt seinen ersten Entwurf des neuen Barometers[5]). Er bestand aus einem langen Barometerrohre AB, welches in seiner Mitte die Erweiterung CD aufwies. Es wurde nun so viel Wasser in das offene Ende gegossen, als nötig war, um die Hälfte des Gefäßes CD und die

1) Mém. de l'Acad. Franç. Paris 1699. IV. S. 233.
2) Leupold, Theatrum machinarum hydraul. 1724. Tab. III. Fig. IX.
3) Histoire de l'Acad. Royale des Sciences. Paris 1699. S. 127.
4) Miscellanea Berol. 1710. I. S. 388.
5) Hugenii, Opera varia I. S. 276. Übers. aus Journal des Sçavans vom 12. Dez. 1672. III. Amsterdam 1673. S. 137.

des Röhrenstückes CE anzufüllen. Der übrige Raum wurde mit Quecksilber gefüllt, dann in gewohnter Weise die Öffnung B mit dem Finger geschlossen und unter Quecksilber geöffnet. Die Figur zeigt die Art, wie sich die Flüssigkeiten nun übereinander gruppierten.

Die mit diesem Apparate erhaltenen Ergebnisse befriedigten indessen Huygens nicht, er ersetzte ihn deshalb durch den anderen, welchen Fig. 190 zeigt. Befand sich bei jenem das Wasser über dem oberen Meniskus, so bedeckte es bei diesem den unteren Spiegel und der Apparat hatte die Form einer U-förmigen Röhre NMH, dessen bei N offener Schenkel unten bei M, dessen anderer, bei H geschlossener Schenkel oben bei K zu einem Gefäße erweitert war. KM war mit Quecksilber, die Hälfte von NM mit Wasser gefüllt. Über beide Apparate spricht sich Huygens folgendermaßen aus[1]: »Ich sagte, dass die zweite Konstruktion besser als die erste sei, nicht nur weil das letzte Barometer ein viel geringeres Volumen besitzt, sondern auch weil ich beobachtet habe, dass in dem ersteren die geringe Menge Luft, welche das Wasser im leeren Raume aushaucht, sich nach und nach mit der Zeit vermehrt. Diesem Übelstande ist das Barometer von 32 Fuß, von dem ich oben sprach [das Wasserbarometer ist gemeint] unterworfen. Um ihm zu begegnen, muss man eine Flüssigkeit suchen, welche nicht wie Wasser oder Weingeist Luft erzeugt. Dass unser späteres Barometer unter diesem Übelstande nicht leidet, ist klar, da das Wasser sich nicht im Vakuum befindet. Sollte man beobachten, dass das Wasser des zweiten Barometers Dämpfe aushauchte, so hat man nur nötig, einen Tropfen Öl darauf zu gießen, welches in der Kälte nicht gerinnt und in der Wärme keine Dämpfe ausstößt, wie süßes Mandelöl.«



Fig. 189.



Fig. 190.

Diese Konstruktion erfüllte den gewünschten Zweck vollkommen, auch begegnen wir hier einem Unterschiede, der zwischen Luft und den ausgestoßenen Dämpfen gemacht wird, wenn auch beide noch nicht als verschiedene Stoffe betrachtet werden. Ferner verlangt Huygens, dass das Quecksilber gut von Luft befreit und getrocknet ist. Anstatt des Wassers in NM schlägt er auch eine andere Flüssigkeit vor, die aber nicht in der Kälte frieren und das Quecksilber auflösen dürfe. Weingeist habe zwar beide Eigenschaften, dehne sich aber durch die Wärme zu sehr aus, gut geeignet sei eine Mischung von gewöhnlichem Wasser mit $\frac{1}{8}$ seines Volumens Weingeist.

1) Hugenii, Opera varia etc. I. S. 278.

Dass Huygens auch höchst wichtige Vorschläge zur Verbesserung des Thermometers gemacht hat, ist erst hervorgetreten, seitdem sein Briefwechsel veröffentlicht wurde. Er wurde dazu durch den ersten Präsidenten der Londoner Royal Society, Robert Moray (um 1610—1673) angeregt, mit dem er in eifrigem Briefwechsel stand. Verfertigt freilich hat er solche Apparate nicht, ja nicht einmal die, welche ihm Moray versprochen hatte, erhalten. Trotzdem aber durchschaute er mit sicherem Blicke die Fehler bei der Herstellung der Thermometer und gab die Mittel an, wie sie zu verbessern seien. Hooke[1]) hatte die Wärmemesser dadurch empfindlicher machen zu können geglaubt, dass er ihnen Röhren von 2 bis 3 Fuß Länge und 0,1 Zoll lichtem Durchmesser gab, die zu Kugeln von 2 Zoll Durchmesser gehörten. Huygens wendet gegen diesen Vorschlag ein, dass solche Thermometer doch nur in wenigen Fällen zu gebrauchen sein möchten, macht auf das in Fig. 160 abgebildete Thermometer der Accademia del Cimento aufmerksam, schlägt aber zugleich vor[2]), »auf eine allgemeine Messung und Bestimmung der Kälte und Wärme zu wirken; indem man zuerst dafür sorgte, dass der Rauminhalt der Kugel in einem gewissen Verhältnisse zu dem der Röhre stehe und dann als Ausgangspunkt der Kältegrade den nähme, bei welchem das Wasser beginnt zu frieren, oder wohl den Wärmegrad des siedenden Wassers, damit man, ohne die Thermometer zu versenden, sich die Wärme- und Kältegrade, welche man in den Versuchen gefunden hat, mitteilen und sie der Nachwelt bezeichnen könne«. So hat Huygens zuerst auf den Weg hingewiesen, der in der Folge zur Herstellung genauer Thermometer führte.

Die wichtigsten experimentellen Untersuchungen, welche uns Huygens hinterlassen hat, behandeln bekanntlich optische Stoffe und sind in seinem Traité de la Lumière und in seiner Dioptrik enthalten, von welchen beiden Werken das erste 1690, das andere erst posthum erschien. Nicht die in ihnen vorgeführten Versuche selbst aber waren es, welche sie, namentlich die erste, als Meisterwerke erscheinen lassen, es war die Deutung der mit einfachen Mitteln herzustellenden Erscheinungen, welche die Wellenlehre des Lichtes begründete und deren Darstellung als bisher unübertroffen noch in den modernen physikalischen Lehrbüchern ungeändert benutzt wird. Das eigentliche Experimentieren erforderte weder Apparate, noch besondere Vorrichtungen und wir können deshalb hier darüber hinweggehen.

---

1) Huygens, Oeuvres complètes. V. S. 138.

2) Ebenda. S. 188. Vgl. Gerland, Zeitschrift für Instrumentenkunde. 1893. XIII. S. 341.

5. Die Verbesserung der Luftpumpe durch Huygens, Papin und einige ihrer Zeitgenossen.

Eingehender haben wir uns mit Huygens' Arbeiten über und mit der Luftpumpe zu beschäftigen, deren Beginn bereits in das Jahr 1661 zurückreicht. Bei einem Besuche, den er damals London abstattete, lernte er durch die Mitglieder der Royal Society die Luftpumpe kennen — es war die Boyles — und sah auch einige interessante Versuche damit anstellen. Das erregte in ihm den Wunsch sich einen ebensolchen Apparat zu bauen, an dem er jedoch einige Verbesserungen anzubringen gedachte. Nach Hause, in den Haag, zurückgekehrt, machte er sich sogleich ans Werk, doch erzählen uns die Briefe, die der große Holländer an seine Brüder Constantyn und Ludwig schrieb, zunächst von mancherlei Misserfolgen. Den Stiefel hatte er bei einem Instrumentenmacher im Haag bestellt, als er ihn aber erhielt, war »die Röhre von so ungleicher Weite, dass man keine oder wenig Luft aus der Flasche herausbekommen konnte«[1]), wie er seinem Bruder Constantyn am 22. Oktober 1661 schrieb. Unter dem Datum des 4. November fragt er dann bei Moray an, ob Boyle seinen Kolben aus Holz oder Kupfer gemacht habe. Erst am 30. November aber, nachdem die erste Röhre durch eine aus massivem Kupfer ersetzt worden war, kann er von gelungenen Versuchen berichten. »Seit gestern geht meine Luftpumpe«, schreibt er an seinen Bruder Ludwig[2]), »und während dieser ganzen Nacht ist eine darin befindliche Blase ausgedehnt geblieben (obwohl vorher kaum Luft darin war), was Boyle niemals hat erreichen können. Morgen wird es einigen Sperlingen und Mäusen das Leben kosten, die ich schon im Vorrat habe. Einer der ersten Versuche wird das Zerbrechen einer der kleinen Glasthränen sein, wofür ich ein Mittel, ohne eine andere Öffnung, wie die untere nötig zu haben, zu besitzen glaube. Ich bediene mich nämlich (als eines Rezipienten) nur einer umgekehrten Flasche mit sehr weitem Hals.« Die Glasthränen, Glastropfen, welche geschmolzen in kaltes Wasser waren fallen gelassen und durch das plötzliche Abkühlen so spröde geworden waren, dass sie nach Abbrechen der Spitze in lauter ganz kleine Teilchen zerfielen, hatte Prinz Ruprecht von der Pfalz (1619—1682) nach England gebracht, Guericke[3]) hatte von ihnen gehört, aber bis 1686 keine zu Gesicht bekommen. Moray hatte mit ihnen Versuche angestellt und man glaubte gefunden zu haben, dass sie im luftleeren Raum in kleinere Stücke zersprängen, wie im lufterfüllten. Das fand indessen Huygens bei seinem am 7. Dezember angestellten Versuche nicht bestätigt. »Sie zerbrach zu Staub ohne jeglichen Respekt vor dem leeren

1) Huygens, Oeuvres complètes. III. S. 370.
2) Huygens, Ebenda. III. S. 395.
3) Guericke, Experimenta nova. 1686. S. 141.

Raum«, schreibt er seinem Bruder Ludwig darüber[1]), während er geglaubt hatte, sie würde gar nicht oder doch mit weniger Heftigkeit zerspringen. Auch andere Versuche gelangen. Aber »die ganze Maschine[2]) ist noch nicht auf dem Punkte, wo ich sie haben will, obschon sie viel besser arbeitet, wie vorige Woche, als ich Dir schrieb, dass $\frac{1}{20}$ oder noch mehr Luft zurückblieb. Es bleibt jetzt, wenn ich will, nicht $\frac{1}{100}$.« Endlich glaubt er diesen Punkt erreicht zu haben und mit Hilfe des in Fig. 191 dargestellten Apparates beweisen zu können, dass es ihm gelungen sei, alle Luft aus dem Rezipienten zu ziehen. »*ABC* ist ein Glas von etwa 1 Fuß Höhe«, so schildert er ihn seinem Bruder in einem Briefe vom 21. Dezember[3]), aus dem genommen ist, »das auf dem Teller *DC* steht, der immer an der Pumpe *K* befestigt bleibt. Unter dieses Gefäß *ABC* setze ich das Glas *FG*, welches Wasser bis zu *H* enthält, damit, wenn ich den Hals oder das Rohr des ganz mit Wasser gefüllten Gefäßes *E* hineintauche, dieses Wasser nicht ausfließen kann. Ist nun *ABC* auf dem Teller aufgeklebt, so dass die Luft nicht darunter gelangen kann, so beginne ich mit der Pumpe diejenige zu verdünnen, die darunter ist. Nach den fünf oder sechs ersten Zügen zeigt sich keine Veränderung, wenn nicht in dem Wasser Blasen aufsteigen, je nachdem dasselbe mehr oder weniger frisch ist. Ist es aber von Luft befreit (was geschieht, wenn man es eine Nacht unter der Luftpumpe stehen lässt), so steigen nur sehr wenige auf. Setzt man nun das Pumpen fort, so beginnt das Wasser in *E* plötzlich herabzusinken, indem es den oberen Teil des Gefäßes verlässt, der luftleer zurückbleibt. Ist es nach und nach in dem Halse *L* herabgegangen, so bleibt es in der Höhe stehen, wo ihm das Wasser aus dem Glase *FG* begegnet, welches in demselben Maße steigt, in dem *E* sich entleert.

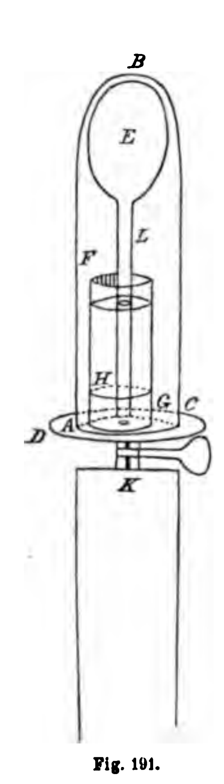


Fig. 191.

Daraus schließe ich, dass, da das Glas *E* ganz leer von Luft wird, bis zu der Stelle, zu welcher das Wasser sinkt, auch der Rezipient *ABC* luftleer sein muss, weil, wenn etwas Luft darin bliebe, diese auf die Oberfläche des Wassers in *FG* drücken und dadurch das Wasser in *L* etwas höher stehen müsste.... Indessen ist noch zu bemerken, dass, wie sehr auch das Wasser in *E* von Luft gereinigt sei, sich doch ein wenig Luft bei diesem Experiment bildet, welche sichtbar wird, wenn man die Luft

1) Huygens, Oeuvres complètes. III. S. 397.
2) Ebenda. S. 408. Brief vom 14. Dez. an seinen Bruder Ludwig.
3) Ebenda. S. 414.

durch den Hahn in den Rezipienten zurücktreten lässt, denn dann füllt sich das Gefäß E von neuem vollständig mit Wasser, mit Ausnahme einer kleinen Blase von der Größe eines Hanfkornes, welche doch nicht im stande ist, ihre Federkraft soviel tausendmal zu vergrößern, als erforderlich wäre, um alles Wasser aus dem Halse L herauszutreiben und deshalb schließe ich, dass der in dieser Blase enthaltenen Luft keine Bedeutung zukommt.

Auch das ist nur eine neue und schöne Beobachtung bezüglich dieser selben Blase, nämlich die, dass wenn sie in dem Gefäß mit Wasser blieb, während ich die Maschine ausgepumpt während eines Tages und einer Nacht stehen ließ, ich fand, dass sie verschwunden war, und dass das Wasser in E, aus dem ich sie gewaltsam ausgetrieben hatte, sie wieder aufgesaugt hatte.«

Die Luftpumpe von Huygens ist der von Boyle ähnlich. Sie unterschied sich von ihr aber sehr zu ihrem Vorteil durch den zugefügten Teller und die ungleich solidere Ausführung. Ihr war es zu danken, dass der niederländische Gelehrte den Plan Boyles auf Guerickes erste Anordnung einer horizontalen von Wasser bedeckten Pumpe zurückzugehen für unnötig, ja verwerflich erklären konnte[1]. Auf den Teller kittete er einen flaschenförmigen Rezipienten mit dem jetzt noch verwendeten Kitt aus gelbem Wachs und Terpentin luftdicht auf. Diesen Kitt stellte er so weich her, dass das Erwärmen mit einem heißen Eisen, wie man es von Siegellack her gewohnt war, ganz wegfiel. Den Kolben brachte er vor seiner Vollendung in den kupfernen Stiefel hinein und füllte ihn so lange mit Wolle und anderen Dingen, bis er nichts mehr fassen konnte. Ob die Dichtung vollständig war, prüfte er, indem er den Kolben bei geschlossenem Stiefel herunterzog. Er musste dann von selbst seine ursprüngliche Stelle wieder einnehmen. Der Hahnsitz bestand aus Kupfer, sein Wirbel aus Holz mit einem ärmelartigen Überzug aus dünnem Leder, statt aus Zinn und Horn, wie die Engländer empfohlen hatten[2].

Es wird wohl kaum der Rechtfertigung bedürfen, dass wir die Arbeiten Huygens' zur Herstellung seiner Luftpumpe so ausführlich geschildert haben. Ist uns doch kaum eine andere Gelegenheit geboten, die Thätigkeit eines Experimentators vor 200 Jahren so bis in ihre Einzelheiten zu verfolgen, wie dies der Briefwechsel von Huygens erlaubt und erscheinen doch gerade diese Versuche als ein Wendepunkt in der Entwickelung der mechanischen Kunst, wie die Vergleichung der Luftpumpe von Huygens mit der von Boyle sofort ergiebt. Bewundernswürdig ist auch die Sorgfalt, die Huygens auch nicht den kleinsten Umstand übersehen, die ihn alles Beachtenswerte hervorheben lässt. Endlich sind auch diese Versuche geeignet, die Frage nach der Erfindung der Barometerprobe, die einige

1) Huygens, Oeuvres complètes. III. S. 439.
2) Ebenda. S. 426.

Huygens, andere Papin zuschrieben, die ich 1883 noch offen lassen musste[1]), zu Gunsten von Huygens zu entscheiden.

Seine mit so glücklichem Erfolg begonnenen Versuche setzte Huygens erst im Anfange der siebziger Jahre des 17. Jahrhunderts fort, als er bereits fünf Jahre lang als Mitglied der dortigen Akademie der Wissenschaften in Paris wohnte. Damals schloss sich ein junger Doktor der Medizin Denis Papin, der in Angers promoviert hatte, an ihn an und diesem übertrug Huygens die Fortsetzung der Versuche mit der Luftpumpe. Sie erhielt eine bequemere Form, welche Papin 1674 in seiner Erstlingsschrift unter dem Titel: »Neue Versuche über den leeren Raum mit der Beschreibung der Maschinen, die zu seiner Herstellung dienen«, beschrieb[2]). Das kleine Buch ist Huygens zugeeignet und beginnt mit den Worten: »Diese Versuche gehören Ihnen, da ich sie fast alle nach Ihrer Angabe angestellt habe, und nach den Vorschriften, welche Sie mir machten. Aber da ich weiß, dass sie Ihnen nur zur Erholung dienten und dass Sie sich kaum jemals entschlossen haben würden, sie niederzuschreiben, und noch weniger sie zu veröffentlichen, so brauche ich nicht zu befürchten, dass Sie es übel vermerken, wenn ich es für Sie thue.« Trotz dieser völlig deutlichen Darstellung der Sachlage hat man immer und immer wieder Papin für den Erfinder des Tellers der Luftpumpe angesehen, weil sich die Abbildung der Huygensschen Maschine, die ihn zuerst aufweist, in Papins Schrift befindet. Sie ist in Fig. 192 reproduziert; man sieht links die ganze Maschine, rechts oben den Kolben, Stiefel und Teller mit dem Rezipienten und die Verbindung des Stiefels mit dem Teller, rechts unten endlich eine Ansicht der oberen Platte mit dem Teller für sich.

Als neu fällt zunächst auf, dass der Teller *TT* seitwärts vom Cylinder angeordnet ist, so dass die Zahnstange *H*, die den Kolben trägt und das sie bewegende Getriebe nebst der Kurbel *SS* oberhalb des Stiefels angebracht werden konnten. Den Stiefel trugen die auf dem Gestelle aufliegenden Stifte *PP*; er hatte bei *M* eine kleine Öffnung, welche leicht mittels des Fingers geschlossen werden konnte. Der durch Drehung des Hebels *QQ* zu bewegende Hahn *X* sitzt da, wo das Verbindungsrohr *RR* zwischen Teller und Stiefel eintritt. Wird der Kolben gehoben, so wird *M* zugehalten; hat er seine höchste Stellung erreicht, so wird *X* einen Augenblick geöffnet, nach seinem sogleich wieder erfolgtem Schluss der Finger von *M* hinweg genommen und dann der Kolben, der mit einer zwei bis drei Finger dicken Wasserschicht, die darauf gegossen wurde, gedichtet worden war, wieder herab bewegt.

---

1) Gerland, Wiedemanns Annalen. 1883. XIX. S. 540, und Zeitschrift für Instrumentenkunde. 1891. S. 131.

2) Papin, Nouvelles Expériences du vuide avec la description des Machines qui servent à les faire. Paris 1674. Neu abgedruckt in de la Saussaye et Péan, La vie et les ouvrages de Denis Papin. Paris et Blois 1869. Vgl. Gerland, Wiedemanns Annalen. 1877. II. S. 665.

Nach Papins ausdrücklicher Mitteilung hatte Huygens wegen der so zweckmäßigen Anordnung des Kolbens und der Bequemlichkeit des Pumpens willen die Boylesche Konstruktion verlassen. Wie er berichtet und wir oben mitteilten, war er auch mit der Dichtung des Kolbens sehr zufrieden.

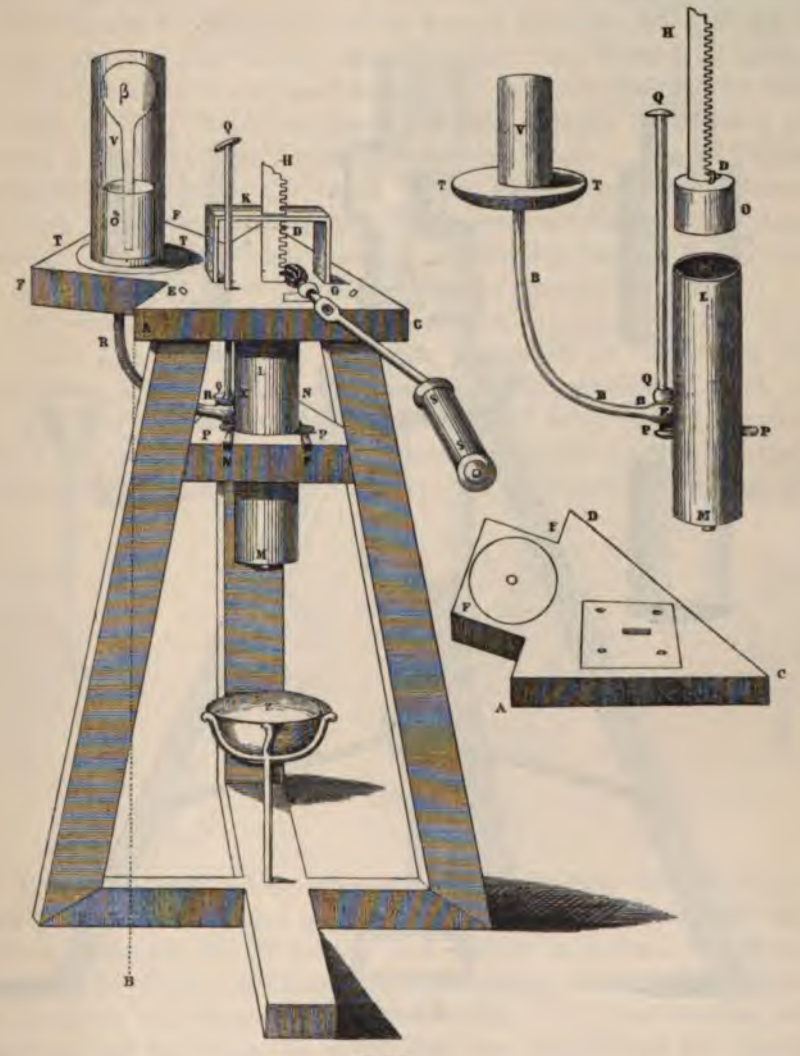


Fig. 192.

Doch scheint es nicht, als ob er den Kolben so hätte dicht halten können, weil er zur althergebrachten Dichtung mit Wasser zurückgekehrt war. Eine zweckmäßigere Form aber erhielt die Barometerprobe. Da Huygens beobachtet hatte, dass von der in ihm gelösten Luft befreites Wasser in dem umgekehrten Glaskolben auch dann noch haften blieb, wenn

es durch den Druck der Luft im Rezipienten nicht mehr im Gleichgewicht gehalten wurde[1]), und erst durch Erschütterungen der Maschine zum Herabfallen gebracht werden musste, so fanden es die zusammen arbeitenden Forscher zweckmäßig, das Wasser durch Quecksilber zu ersetzen und anstatt des umgekehrten Glaskolbens eine oben geschlossene Röhre zu verwenden.

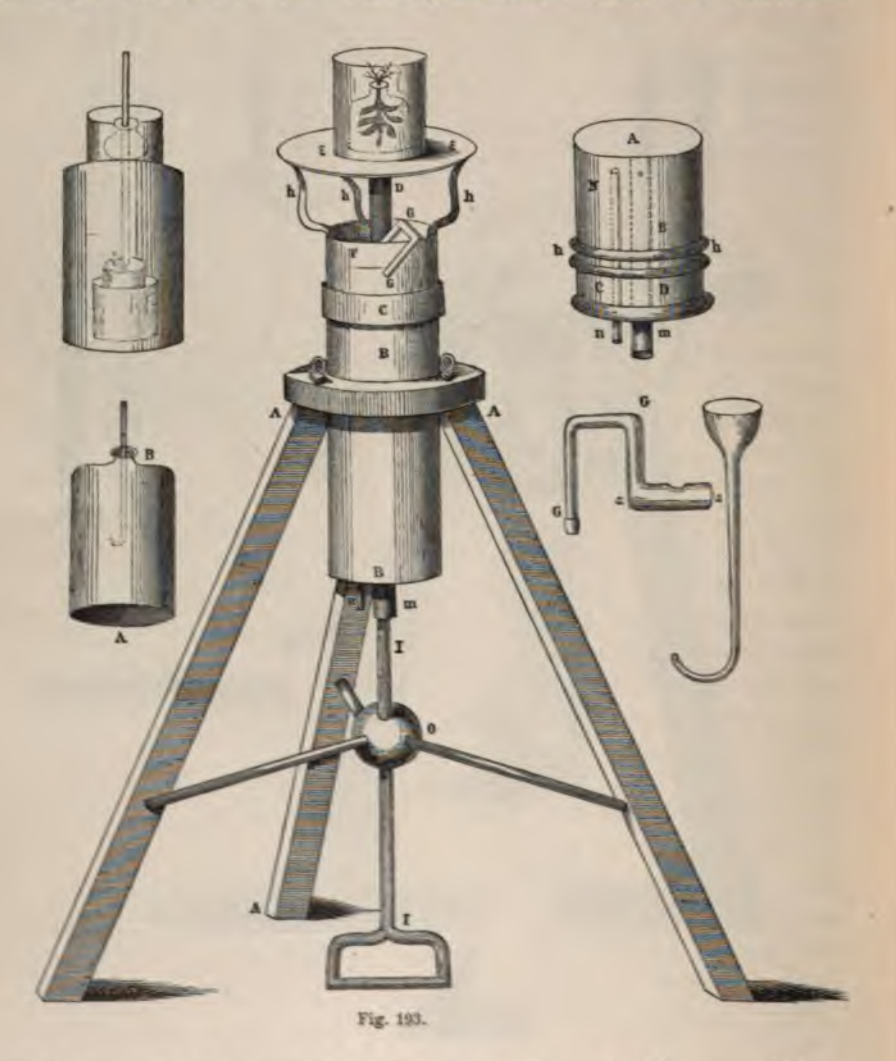


Fig. 193.

Auch bedienten sie sich, um den Rezipienten lange luftleer zu erhalten, mit Vorteil eines Ventiles von Schafleder.

Die Erfahrungen, welche **Papin** bei dem häufigen Arbeiten mit **Huygens'** Luftpumpe machte, ließen ihn einige Änderungen anbringen, die zu seiner in Fig. 193 dargestellten neuen Konstruktion führten. Die Kolbenstange

1) **Huygens**, Opera varia. IV. S. 770.

ließ er wieder nach unten aus dem Stiefel treten, versah sie aber mit einem Steigbügel, so dass der Pumpende mit dem ganzen Gewicht seines Körpers die Luftleere herstellen konnte. Auch blieben ihm so die Hände frei und das Pumpen war möglich, selbst wenn kein Gehilfe zur Hand war. Den Vorteil der Wasserdichtung wollte aber Papin nicht entbehren, er gab deshalb dem Kolben die oben rechts in Fig. 193 dargestellte Einrichtung. Danach besteht der Kolben aus einem unteren massiven Teil *CD* und einem oberen, einem hohlen Deckel ähnlichen *AB*. Die Platte *CD* hatte oben und unten je einen Wulst, zwischen beide konnte die gewöhnliche Liderung gebracht werden, der Raum unter *A* wurde dagegen mit Wasser gefüllt, das bei *h* austretend die Dichtung verbessern konnte. Um die Füllung zu bewerkstelligen, wurde der rechts in der Mitte abgebildete Trichter mit der nach oben gebogenen Öffnung in die untere Öffnung des Rohres *Nn* gesteckt. Das Wasser drang ein und erfüllte den Raum *AB*, aus welchem die Luft durch die in *m* befindliche Öffnung entweichen konnte.

Die wichtigste Verbesserung, die Papin anbrachte, ist der Hahn *T*, der neben dem Trichter von der Seite hergestellt ist. Sein aus Messing hergestellter Wirbel *aa* hat eine gewöhnliche Durchbohrung, durch welche der Rezipient mit dem Stiefel und eine Rille, durch welche er oder der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung treten kann. Die vier dies bewirkenden Stellungen zeigt Fig. 194, wo die Linie mit dem Kreischen

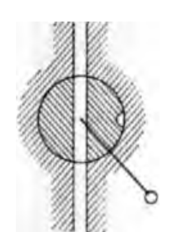
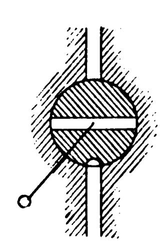
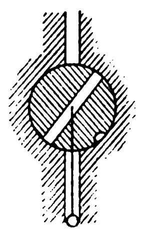
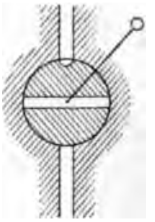
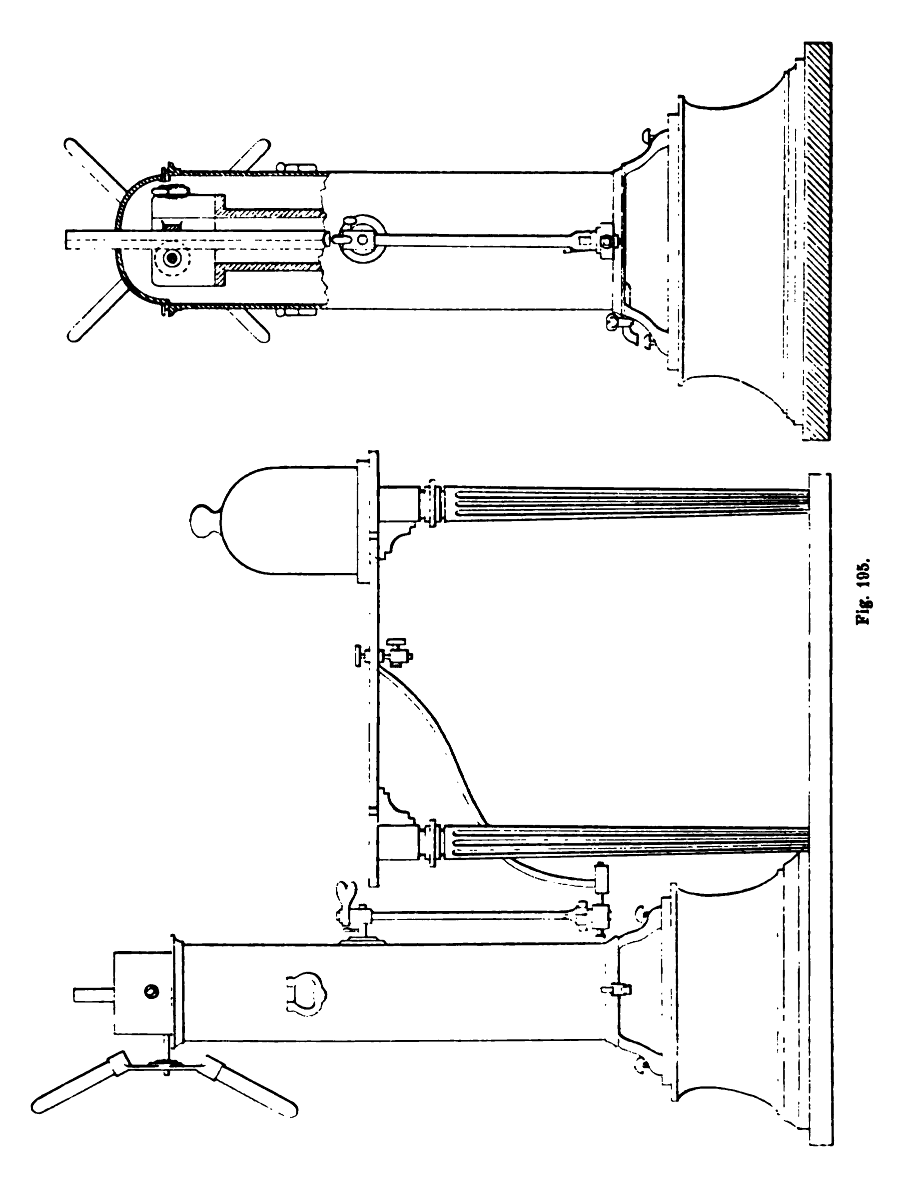





Fig. 194.

die Kurbel bedeutet. Die erste und zweite Stellung müssen dem Hahn beim Pumpen abwechselnd gegeben werden, dazu hat der Pumpende die Kurbel immer nur um 90° herüber und hinüber zu drehen. Ihre Bewegung konnte leicht durch Aufschlagen des horizontalen Stückes des Kurbelhalses auf den Rand des Cylinders begrenzt werden. Die dritte Stellung schließt Rezipient und Stiefel ab, die vierte setzt den ersteren mit der Atmosphäre in Verbindung. Dies ist der erste doppelt durchbohrte Hahn, dessen Erfindung man so lange irrtümlicherweise Senguerd zugeschrieben hat.

Die Vorteile, welche die Anwendung dieses Hahnes bot, lagen so sehr auf der Hand, dass er auch bei allen späteren Luftpumpenkonstruktionen beibehalten ist. So finden wir ihn zunächst an der wundervoll gearbeiteten Luftpumpe, welche noch eine Zierde des physikalischen Kabinets der

Universität zu Leiden bildet und deren Bild Fig. 195 in Vorder- und Seitenansicht giebt. Die Einrichtung des Hahnes giebt Fig. 196. Sie weicht insofern von der Papins ab, dass an die Stelle der Rille eine Durchbohrung getreten ist. Der Teller ist bequem auf einem Tische angebracht,


Fig. 195.

der Hahn, wie bei Huygens' Luftpumpe durch einen Schlüssel mittels langer Stange zu bewegen. Der Stiefel befindet sich in einem (rechts zum Teil aufgeschnitten dargestelltem) Gehäuse von poliertem Messing, welches der besseren Dichtung des Kolbens wegen nach Abnahme des

Deckels mit Wasser oder besser mit Öl gefüllt werden konnte, das ein Hahn unten wieder abzuzapfen erlaubte. Besonders bemerkenswert ist die schöne Ausstattung der ganzen Maschine und sie dürfte den Beweis für die hohe Entwickelung, die die mechanische Kunst damals bereits in den Niederlanden erreicht hatte, liefern. Sie wurde ein Jahr nach Papins Veröffentlichung seiner Erfindung des doppelt durchbohrten Hahnes, also 1675 von Samuel van Musschenbroek (1639—1682) nach der Angabe de Volders' (1643—1709) gebaut. Es verdient bemerkt zu werden, dass van Musschenbroek wie Huygens nicht mehr das Bedürfnis empfanden, ihre Hähne durch Einsetzen in Wasser zu dichten. Auch das spricht für die Güte der mechanischen Ausführung ihrer Maschinen. Auch kleinere Luftpumpen dieser Art, die man auf einen Tisch setzte, scheint Samuel van Musschenbroek gebaut zu haben [1]).

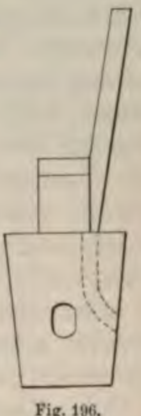


Fig. 196.

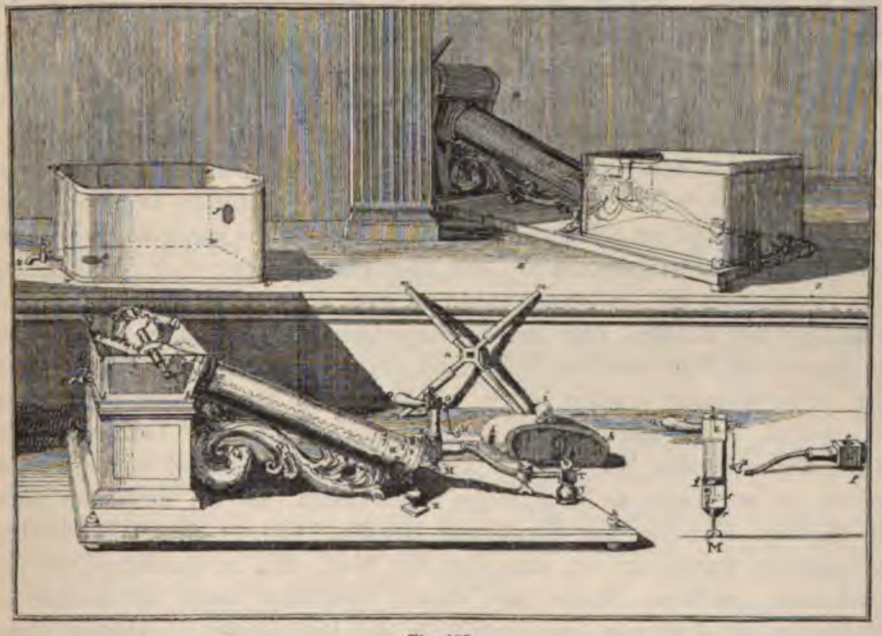


Fig. 197.

Handlicher noch ist die Form, die kurz darauf, im Jahre 1679 Senguerd [2]) (1646—1724) der Luftpumpe gab und die Fig. 197 vorführt. Sie ist von Jan van Musschenbroek (1687—1748), dem Neffen Samuels gebaut und erwies sich als so bequem, dass der genannte mechanische

1) Senguerdii Philosophia naturalis. Lugd. Bat. 1685. 2. Ed. S. 88.

2) Senguerd, a. a. O.

Künstler eine sehr große Zahl davon hergestellt hat, dass sie in keiner größeren Sammlung älterer Apparate fehlt. Der Stiefel liegt schief, der Kolben wird durch Zahnstange und Getriebe bewegt. Der doppelt durchbohrte Hahn ist am unteren Ende des Stiefels angebracht; er ist in der Nebenfigur unten rechts noch einmal abgebildet. Der Stiefel mündet in ein mit Deckel versehenes Gefäß, in das Wasser gegossen werden kann; ebenso wird, wie die Figur rechts oben zeigt, der Hahn und das den Teller tragende Rohr in einen Kasten eingeschlossen, der mit Wasser zu füllen ist. Die Austrittsöffnung des Hahnes kann mit einem Stöpsel verschlossen werden, welcher an einem Kettchen befestigt ist, so dass er nicht in Verlust gehen kann. Außer Musschenbroek fertigte auch der Leipziger Mechaniker Leupold[1]) (1674—1727) solche Luftpumpen an und empfahl sie 1707 in einer besonderen Schrift seinen Kunden. Einen Fortschritt gegen die früheren zeigen die beiden van Musschenbroekschen Luftpumpen nicht. Sie waren zweckmäßig angeordnet, keiner ihrer Teile aber weitergebildet.

Neue Konstruktionen gab wieder erst Papin. Er hatte sich 1674 oder 1675 nach London begeben und war dort zu Boyle in ein ähnliches Verhältnis getreten. wie er es in Paris zu Huygens gehabt hatte. Und wieder waren es Versuche mit der Luftpumpe, mit denen er sich beschäftigte, aber es fällt sogleich auf, dass er einen anderen Weg einschlug wie der war, den ihm Huygens vorgezeichnet hatte. Hatte der letztere alles Gewicht darauf gelegt, die Dichtung mit Wasser durch sorgfältige Herstellung des luftdichten Verschlusses des Rezipienten und des Kolbens zu ersetzen, so hatte Papin die Wasserdichtung, allerdings in einer Form, in der sie auf die zu erhaltende Luftleere keinen allzu ungünstigen Einfluss ausübte, wieder aufgenommen. Nun aber gab er sogar auch die Dichtung des Rezipienten mit Luftpumpenfett auf und da er dafür nur den Grund angab, es sei unnötig, dass sich der Experimentator die Finger beschmutze, so muss er bei dem einzelnen Hube einen unvergleichlich viel geringeren Grad der Luftverdünnung erhalten haben, wie Huygens. Daraus aber den Schluss zu ziehen, dass Papin auf eine möglichst vollkommene Luftleere nicht den entsprechenden Wert gelegt habe, würde ganz falsch sein. Papin suchte sie auf einem anderen Wege zu erreichen, sei es, dass ihm nicht so tüchtige Künstler zur Verfügung standen, wie es die holländischen Mechaniker waren, sei es, dass ihm der Weg, den er einschlug, als der einfachere erschien. Wenn man darauf verzichten muss, so mochte er überlegen, die Luft von dem Eintritt in den Rezipienten abzuhalten, dann ist es doch noch möglich einen luftleeren Raum zu erhalten, wenn man ununterbrochen weiter pumpt und bei jedem Hube etwas mehr Luft wegschafft, als eindringen konnte. Sollte aber längere Zeit hindurch der Experimentator pumpen, so musste das mit größter Bequemlichkeit geschehen können, seine Hände musste er frei behalten und sich nicht mit

1) Leupold, Antlia pneumatica illustrata. Leipzig 1707.

Überlegung quälen müssen, ob der Hebel, der den Hahn bewegte, nach rechts oder links zu stellen sei. Dies erreichte Papin mit der in Fig. 198 dargestellten Form der Luftpumpe, der Ventilluftpumpe, welche in freilich viel vollkommenerer Einrichtung auch jetzt noch die häufigst angewandte ist. Die Pumpe hat im Gegensatz zu allen früheren zwei Stiefel, von denen der eine dann die Luft aus dem Rezipienten pumpt, wenn der andere mit der Atmosphäre in Verbindung steht. An einer Schnur, die über die Rolle *A* geht, hängen die Kolben unterhalb der beiden Trittbretter *B*, auf welche der Experimentator sich abwechselnd stellt. An ihren Bodenflächen sind beide Stiefel mit Ventilen versehen, welche sich nach innen öffnen und die Rohre *C* abwechselnd abschließen. Ebenso enthalten die durchbohrten Kolben Ventile. Es bestehen diese Ventile aus viereckigen Stückchen Lammsleder, welche über die Öffnung gespannt und an zwei gegenüberliegenden Seiten befestigt sind. Durch den von unten wirkenden Druck der Luft werden sie etwas gehoben und diese kann entweichen. Die beiden Rohre *CC* vereinigen sich zu einem dritten *DD*, welches im Teller *E* unter dem Rezipienten mündet. Mit dieser Maschine war ein fortgesetztes Pumpen möglich, während der Experimentator zugleich alles, was sich unter dem Rezipienten ereignete, gut beobachten konnte[1]).

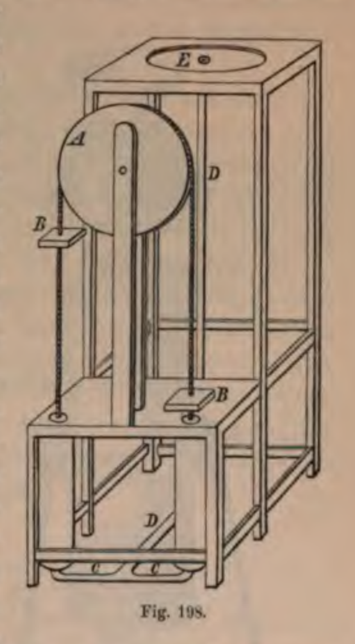


Fig. 198.

Die Luftpumpe mit zwei Stiefeln ist also nicht, wie man gewöhnlich findet, zuerst 1709 von Hawksbee angegeben[2]). Auch der Anwendung der Ventile begegnen wir hier wohl zuerst. Solche hatte übrigens auch 1676 Sturm[3]) (1635—1703) an der ersten Guerickeschen Luftpumpe angebracht, indem er den Stift Guerickes weggelassen und durch ein im Kolben angebrachtes Ventil ersetzt hatte. Die Kolbenstange hatte er hohl gemacht und an ihrem oberen Ende mit einer kleinen Öffnung versehen, aus welcher die Luft entweichen konnte. Ob die Sturmsche oder die Papinsche Ventilluftpumpe die ältere ist, ist bisher nicht festzustellen gewesen, die Ventile dürften aber eine der Erfindungen Papins sein, da er sie bereits früher mehrfach verwendet hatte.

---

1) Die Luftpumpe ist abgebildet in Boyle, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genevae 1682. Icon. I.

2) Fischer, Physikalisches Wörterbuch. III. Göttingen 1800. S. 379.

3) Sturm, Collegium curiosum. Norimbergae 1676. S. 100.

Künstler eine sehr große Zahl davon hergestellt hat, dass sie in keiner größeren Sammlung älterer Apparate fehlt. Der Stiefel liegt schief, der Kolben wird durch Zahnstange und Getriebe bewegt. Der doppelt durchbohrte Hahn ist am unteren Ende des Stiefels angebracht; er ist in der Nebenfigur unten rechts noch einmal abgebildet. Der Stiefel mündet in ein mit Deckel versehenes Gefäß, in das Wasser gegossen werden kann; ebenso wird, wie die Figur rechts oben zeigt, der Hahn und das den Teller tragende Rohr in einen Kasten eingeschlossen, der mit Wasser zu füllen ist. Die Austrittsöffnung des Hahnes kann mit einem Stöpsel verschlossen werden, welcher an einem Kettchen befestigt ist, so dass er nicht in Verlust gehen kann. Außer Musschenbroek fertigte auch der Leipziger Mechaniker Leupold[1]) (1674—1727) solche Luftpumpen an und empfahl sie 1707 in einer besonderen Schrift seinen Kunden. Einen Fortschritt gegen die früheren zeigen die beiden van Musschenbroekschen Luftpumpen nicht. Sie waren zweckmäßig angeordnet, keiner ihrer Teile aber weitergebildet.

Neue Konstruktionen gab wieder erst Papin. Er hatte sich 1674 oder 1675 nach London begeben und war dort zu Boyle in ein ähnliches Verhältnis getreten, wie er es in Paris zu Huygens gehabt hatte. Und wieder waren es Versuche mit der Luftpumpe, mit denen er sich beschäftigte, aber es fällt sogleich auf, dass er einen anderen Weg einschlug wie der war, den ihm Huygens vorgezeichnet hatte. Hatte der letztere alles Gewicht darauf gelegt, die Dichtung mit Wasser durch sorgfältige Herstellung des luftdichten Verschlusses des Rezipienten und des Kolbens zu ersetzen, so hatte Papin die Wasserdichtung, allerdings in einer Form, in der sie auf die zu erhaltende Luftleere keinen allzu ungünstigen Einfluss ausübte, wieder aufgenommen. Nun aber gab er sogar auch die Dichtung des Rezipienten mit Luftpumpenfett auf und da er dafür nur den Grund angab, es sei unnötig, dass sich der Experimentator die Finger beschmutze, so muss er bei dem einzelnen Hube einen unvergleichlich viel geringeren Grad der Luftverdünnung erhalten haben, wie Huygens. Daraus aber den Schluss zu ziehen, dass Papin auf eine möglichst vollkommene Luftleere nicht den entsprechenden Wert gelegt habe, würde ganz falsch sein. Papin suchte sie auf einem anderen Wege zu erreichen, sei es, dass ihm nicht so tüchtige Künstler zur Verfügung standen, wie es die holländischen Mechaniker waren, sei es, dass ihm der Weg, den er einschlug, als der einfachere erschien. Wenn man darauf verzichten muss, so mochte er überlegen, die Luft von dem Eintritt in den Rezipienten abzuhalten, dann ist es doch noch möglich einen luftleeren Raum zu erhalten, wenn man ununterbrochen weiter pumpt und bei jedem Hube etwas mehr Luft wegschafft, als eindringen konnte. Sollte aber längere Zeit hindurch der Experimentator pumpen, so musste das mit größter Bequemlichkeit geschehen können, seine Hände musste er frei behalten und sich nicht mit

1) Leupold, Antlia pneumatica illustrata. Leipzig 1707.

Überlegung quälen müssen, ob der Hebel, der den Hahn bewegte, nach rechts oder links zu stellen sei. Dies erreichte **Papin** mit der in Fig. 198 dargestellten Form der Luftpumpe, der Ventilluftpumpe, welche in freilich viel vollkommenerer Einrichtung auch jetzt noch die häufigst angewandte ist. Die Pumpe hat im Gegensatz zu allen früheren zwei Stiefel, von denen der eine dann die Luft aus dem Rezipienten pumpt, wenn der andere mit der Atmosphäre in Verbindung steht. An einer Schnur, die über die Rolle *A* geht, hängen die Kolben unterhalb der beiden Trittbretter *B*, auf welche der Experimentator sich abwechselnd stellt. An ihren Bodenflächen sind beide Stiefel mit Ventilen versehen, welche sich nach innen öffnen und die Rohre *C* abwechselnd abschließen. Ebenso enthalten die durchbohrten Kolben Ventile. Es bestehen diese Ventile aus viereckigen Stückchen Lammsleder, welche über die Öffnung gespannt und an zwei gegenüberliegenden Seiten befestigt sind. Durch den von unten wirkenden Druck der Luft werden sie etwas gehoben und diese kann entweichen. Die beiden Rohre *CC* vereinigen sich zu einem dritten *DD*, welches im Teller *E* unter dem Rezipienten mündet. Mit dieser Maschine war ein fortgesetztes Pumpen möglich, während der Experimentator zugleich alles, was sich unter dem Rezipienten ereignete, gut beobachten konnte[1].

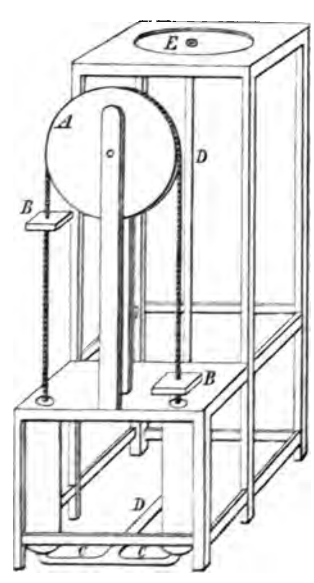


Fig. 198.

Die Luftpumpe mit zwei Stiefeln ist also nicht, wie man gewöhnlich findet, zuerst 1709 von **Hawksbee** angegeben[2]. Auch der Anwendung der Ventile begegnen wir hier wohl zuerst. Solche hatte übrigens auch 1676 **Sturm**[3] (1635—1703) an der ersten **Guericke**schen Luftpumpe angebracht, indem er den Stift **Guerickes** weggelassen und durch ein im Kolben angebrachtes Ventil ersetzt hatte. Die Kolbenstange hatte er hohl gemacht und an ihrem oberen Ende mit einer kleinen Öffnung versehen, aus welcher die Luft entweichen konnte. Ob die **Sturm**sche oder die **Papin**sche Ventilluftpumpe die ältere ist, ist bisher nicht festzustellen gewesen, die Ventile dürften aber eine der Erfindungen **Papins** sein, da er sie bereits früher mehrfach verwendet hatte.

---

1) Die Luftpumpe ist abgebildet in **Boyle**, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genevae 1682. Icon I.

2) **Fischer**, Physikalisches Wörterbuch. III. Göttingen [illegible]. S. [illegible]

3) **Sturm**, Collegium curiosum. Norimbergae 1676. S. [illegible]

Künstler eine sehr große Zahl davon hergestellt hat, dass sie in keine größeren Sammlung älterer Apparate fehlt. Der Stiefel liegt schief, de Kolben wird durch Zahnstange und Getriebe bewegt. Der doppelt durch bohrte Hahn ist am unteren Ende des Stiefels angebracht; er ist in de Nebenfigur unten rechts noch einmal abgebildet. Der Stiefel mündet i ein mit Deckel versehenes Gefäß, in das Wasser gegossen werden kann ebenso wird, wie die Figur rechts oben zeigt, der Hahn und das den Telle tragende Rohr in einen Kasten eingeschlossen, der mit Wasser zu füllen ist Die Austrittsöffnung des Hahnes kann mit einem Stöpsel verschlosse werden, welcher an einem Kettchen befestigt ist, so dass er nicht in Verlus gehen kann. Außer Musschenbroek fertigte auch der Leipziger Mechanike Leupold[1]) (1674—1727) solche Luftpumpen an und empfahl sie 170 in einer besonderen Schrift seinen Kunden. Einen Fortschritt gegen di früheren zeigen die beiden van Musschenbroekschen Luftpumpen nicht Sie waren zweckmäßig angeordnet, keiner ihrer Teile aber weitergebildet

Neue Konstruktionen gab wieder erst Papin. Er hatte sich 1674 ode 1675 nach London begeben und war dort zu Boyle in ein ähnliches Ver hältnis getreten. wie er es in Paris zu Huygens gehabt hatte. Un wieder waren es Versuche mit der Luftpumpe, mit denen er sich be schäftigte, aber es fällt sogleich auf, dass er einen anderen Weg einschlu wie der war, den ihm Huygens vorgezeichnet hatte. Hatte der letzter alles Gewicht darauf gelegt, die Dichtung mit Wasser durch sorgfältig Herstellung des luftdichten Verschlusses des Rezipienten und des Kolben zu ersetzen, so hatte Papin die Wasserdichtung, allerdings in einer Form in der sie auf die zu erhaltende Luftleere keinen allzu ungünstigen Einflus ausübte, wieder aufgenommen. Nun aber gab er sogar auch die Dichtun des Rezipienten mit Luftpumpenfett auf und da er dafür nur den Grun angab, es sei unnötig, dass sich der Experimentator die Finger beschmutze so muss er bei dem einzelnen Hube einen unvergleichlich viel geringeren Gra der Luftverdünnung erhalten haben, wie Huygens. Daraus aber den Schlus zu ziehen, dass Papin auf eine möglichst vollkommene Luftleere nich den entsprechenden Wert gelegt habe, würde ganz falsch sein. Papi suchte sie auf einem anderen Wege zu erreichen, sei es, dass ihm nich so tüchtige Künstler zur Verfügung standen, wie es die holländische Mechaniker waren, sei es, dass ihm der Weg, den er einschlug, als de einfachere erschien. Wenn man darauf verzichten muss, so mochte e überlegen, die Luft von dem Eintritt in den Rezipienten abzuhalten, dan ist es doch noch möglich einen luftleeren Raum zu erhalten, wenn ma ununterbrochen weiter pumpt und bei jedem Hube etwas mehr Luft weg schafft, als eindringen konnte. Sollte aber längere Zeit hindurch de Experimentator pumpen, so musste das mit größter Bequemlichkeit ge schehen können, seine Hände musste er frei behalten und sich nicht mi

1) Leupold, Antlia pneumatica illustrata. Leipzig 1707.

Überlegung quälen müssen, ob der Hebel, der den Hahn bewegte, nach rechts oder links zu stellen sei. Dies erreichte Papin mit der in Fig. 198 dargestellten Form der Luftpumpe, der Ventilluftpumpe, welche in freilich viel vollkommenerer Einrichtung auch jetzt noch die häufigst angewandte ist. Die Pumpe hat im Gegensatz zu allen früheren zwei Stiefel, von denen der eine dann die Luft aus dem Rezipienten pumpt, wenn der andere mit der Atmosphäre in Verbindung steht. An einer Schnur, die über die Rolle *A* geht, hängen die Kolben unterhalb der beiden Trittbretter *B*, auf welche der Experimentator sich abwechselnd stellt. An ihren Bodenflächen sind beide Stiefel mit Ventilen versehen, welche sich nach innen öffnen und die Rohre *C* abwechselnd abschließen. Ebenso enthalten die durchbohrten Kolben Ventile. Es bestehen diese Ventile aus viereckigen Stückchen Lammsleder, welche über die Öffnung gespannt und an zwei gegenüberliegenden Seiten befestigt sind. Durch den von unten wirkenden Druck der Luft werden sie etwas gehoben und diese kann entweichen. Die beiden Rohre *CC* vereinigen sich zu einem dritten *DD*, welches im Teller *E* unter dem Rezipienten mündet. Mit dieser Maschine war ein fortgesetztes Pumpen möglich, während der Experimentator zugleich alles, was sich unter dem Rezipienten ereignete, gut beobachten konnte[1]).

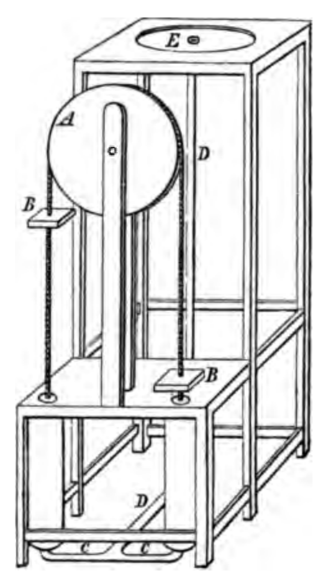


Fig. 198.

Die Luftpumpe mit zwei Stiefeln ist also nicht, wie man gewöhnlich findet, zuerst 1709 von Hawksbee angegeben[2]). Auch der Anwendung der Ventile begegnen wir hier wohl zuerst. Solche hatte übrigens auch 1676 Sturm[3]) (1635—1703) an der ersten Guerickeschen Luftpumpe angebracht, indem er den Stift Guerickes weggelassen und durch ein im Kolben angebrachtes Ventil ersetzt hatte. Die Kolbenstange hatte er hohl gemacht und an ihrem oberen Ende mit einer kleinen Öffnung versehen, aus welcher die Luft entweichen konnte. Ob die Sturmsche oder die Papinsche Ventilluftpumpe die ältere ist, ist bisher nicht festzustellen gewesen, die Ventile dürften aber eine der Erfindungen Papins sein, da er sie bereits früher mehrfach verwendet hatte.

---

1) Die Luftpumpe ist abgebildet in Boyle, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genevae 1682. Icon. I.

2) Fischer, Physikalisches Wörterbuch. III. Göttingen 1800. S. 379.

3) Sturm, Collegium curiosum. Norimbergae 1676. S. 100.

Künstler eine sehr große Zahl davon hergestellt hat, dass sie in keiner größeren Sammlung älterer Apparate fehlt. Der Stiefel liegt schief, der Kolben wird durch Zahnstange und Getriebe bewegt. Der doppelt durchbohrte Hahn ist am unteren Ende des Stiefels angebracht; er ist in der Nebenfigur unten rechts noch einmal abgebildet. Der Stiefel mündet in ein mit Deckel versehenes Gefäß, in das Wasser gegossen werden kann; ebenso wird, wie die Figur rechts oben zeigt, der Hahn und das den Teller tragende Rohr in einen Kasten eingeschlossen, der mit Wasser zu füllen ist. Die Austrittsöffnung des Hahnes kann mit einem Stöpsel verschlossen werden, welcher an einem Kettchen befestigt ist, so dass er nicht in Verlust gehen kann. Außer Musschenbroek fertigte auch der Leipziger Mechaniker Leupold[1]) (1674—1727) solche Luftpumpen an und empfahl sie 1707 in einer besonderen Schrift seinen Kunden. Einen Fortschritt gegen die früheren zeigen die beiden van Musschenbroekschen Luftpumpen nicht. Sie waren zweckmäßig angeordnet, keiner ihrer Teile aber weitergebildet.

Neue Konstruktionen gab wieder erst Papin. Er hatte sich 1674 oder 1675 nach London begeben und war dort zu Boyle in ein ähnliches Verhältnis getreten, wie er es in Paris zu Huygens gehabt hatte. Und wieder waren es Versuche mit der Luftpumpe, mit denen er sich beschäftigte, aber es fällt sogleich auf, dass er einen anderen Weg einschlug wie der war, den ihm Huygens vorgezeichnet hatte. Hatte der letztere alles Gewicht darauf gelegt, die Dichtung mit Wasser durch sorgfältige Herstellung des luftdichten Verschlusses des Rezipienten und des Kolbens zu ersetzen, so hatte Papin die Wasserdichtung, allerdings in einer Form, in der sie auf die zu erhaltende Luftleere keinen allzu ungünstigen Einfluss ausübte, wieder aufgenommen. Nun aber gab er sogar auch die Dichtung des Rezipienten mit Luftpumpenfett auf und da er dafür nur den Grund angab, es sei unnötig, dass sich der Experimentator die Finger beschmutze, so muss er bei dem einzelnen Hube einen unvergleichlich viel geringeren Grad der Luftverdünnung erhalten haben, wie Huygens. Daraus aber den Schluss zu ziehen, dass Papin auf eine möglichst vollkommene Luftleere nicht den entsprechenden Wert gelegt habe, würde ganz falsch sein. Papin suchte sie auf einem anderen Wege zu erreichen, sei es, dass ihm nicht so tüchtige Künstler zur Verfügung standen, wie es die holländischen Mechaniker waren, sei es, dass ihm der Weg, den er einschlug, als der einfachere erschien. Wenn man darauf verzichten muss, so mochte er überlegen, die Luft von dem Eintritt in den Rezipienten abzuhalten, dann ist es doch noch möglich einen luftleeren Raum zu erhalten, wenn man ununterbrochen weiter pumpt und bei jedem Hube etwas mehr Luft wegschafft, als eindringen konnte. Sollte aber längere Zeit hindurch der Experimentator pumpen, so musste das mit größter Bequemlichkeit geschehen können, seine Hände musste er frei behalten und sich nicht mit

1) Leupold, Antlia pneumatica illustrata. Leipzig 1707.

Überlegung quälen müssen, ob der Hebel, der den Hahn bewegte, nach rechts oder links zu stellen sei. Dies erreichte **Papin** mit der in Fig. 198 dargestellten Form der Luftpumpe, der Ventilluftpumpe, welche in freilich viel vollkommenerer Einrichtung auch jetzt noch die häufigst angewandte ist. Die Pumpe hat im Gegensatz zu allen früheren zwei Stiefel, von denen der eine dann die Luft aus dem Rezipienten pumpt, wenn der andere mit der Atmosphäre in Verbindung steht. An einer Schnur, die über die Rolle *A* geht, hängen die Kolben unterhalb der beiden Trittbretter *B*, auf welche der Experimentator sich abwechselnd stellt. An ihren Bodenflächen sind beide Stiefel mit Ventilen versehen, welche sich nach innen öffnen und die Rohre *C* abwechselnd abschließen. Ebenso enthalten die durchbohrten Kolben Ventile. Es bestehen diese Ventile aus viereckigen Stückchen Lammsleder, welche über die Öffnung gespannt und an zwei gegenüberliegenden Seiten befestigt sind. Durch den von unten wirkenden Druck der Luft werden sie etwas gehoben und diese kann entweichen. Die beiden Rohre *CC* vereinigen sich zu einem dritten *DD*, welches im Teller *E* unter dem Rezipienten mündet. Mit dieser Maschine war ein fortgesetztes Pumpen möglich, während der Experimentator zugleich alles, was sich unter dem Rezipienten ereignete, gut beobachten konnte[1]).

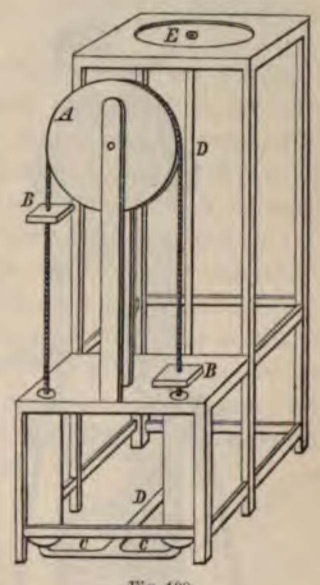


Fig. 198.

Die Luftpumpe mit zwei Stiefeln ist also nicht, wie man gewöhnlich findet, zuerst 1709 von **Hawksbee** angegeben[2]). Auch der Anwendung der Ventile begegnen wir hier wohl zuerst. Solche hatte übrigens auch 1676 **Sturm**[3]) (1635—1703) an der ersten **Guericke**schen Luftpumpe angebracht, indem er den Stift **Guerickes** weggelassen und durch ein im Kolben angebrachtes Ventil ersetzt hatte. Die Kolbenstange hatte er hohl gemacht und an ihrem oberen Ende mit einer kleinen Öffnung versehen, aus welcher die Luft entweichen konnte. Ob die **Sturm**sche oder die **Papin**sche Ventilluftpumpe die ältere ist, ist bisher nicht festzustellen gewesen, die Ventile dürften aber eine der Erfindungen **Papins** sein, da er sie bereits früher mehrfach verwendet hatte.

---

1) Die Luftpumpe ist abgebildet in **Boyle**, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genevae 1682. Icon. I.

2) **Fischer**, Physikalisches Wörterbuch. III. Göttingen 1800. S. 379.

3) **Sturm**, Collegium curiosum. Norimbergae 1676. S. 100.

Mit dieser ganz neuen Form der Luftpumpe hat Papin das Verha[lten] einer großen Zahl von Körpern im luftleeren Raume studiert. Dabei mu[sste] der Umstand, dass infolge der Spannung der Ventile nur ein geringer G[rad] der Verdünnung zu erreichen war, sich sehr bald in hohem Grade stö[rend] bemerklich machen. Ihm war abzuhelfen, wenn man die Ve[ntile] steuerbar machte. Das suchte Pa[pin] mit der in Fig. 199 abgebildeten L[uft]pumpe zu erreichen, welche er 1[687] in einer besonderen Schrift und einem Auszug daraus in den A[cta] Eruditorum beschrieb[1]).

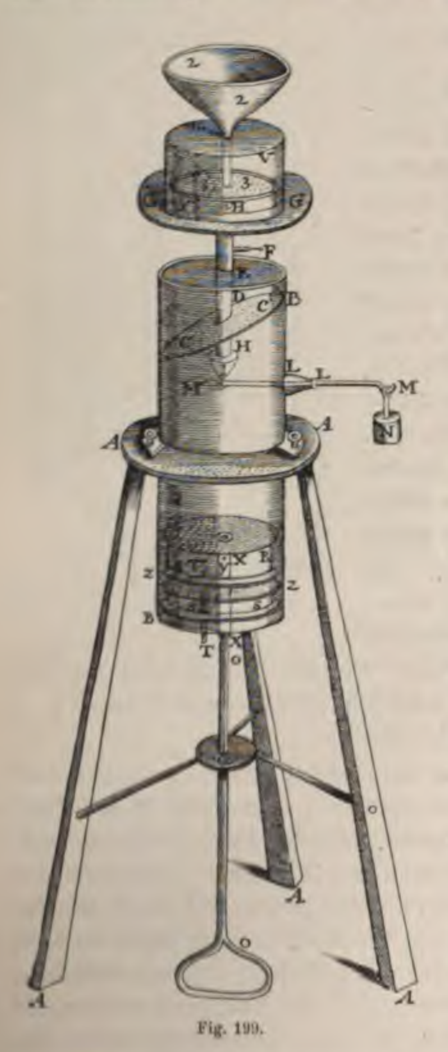


Fig. 199.

Die Anordnung der einzelnen T[eile] und die Einrichtung des Kolbens die nämliche, welche wir bei Luftpumpe von 1674 bereits ken[nen] gelernt haben. Aber die Verbindu[ng] des Tellers mit dem Stiefel und Form des oberen Teiles des letzte[ren] ist eine gänzlich andere geword[en]. Sein Deckel *B* ist schief gelegt u[nd] an seinem oberen Teile mit ein[em] sich nach außen öffnenden Ventil versehen. Das Verbindungsrohr *E* des Tellers *GG* mit dem Stie[fel] durchdringt den Deckel *B*, hat bei eine durch einen Stift verschließba[re] Öffnung und ist unten durch Ventil *I* abgeschlossen. Mittels nach außen gehenden eisernen Stan[ge] *MM*, die bei *L* mit Wachs gedich[tet] ist, kann das Ventil nach Belieb[en] geöffnet und geschlossen werden, gewöhnlich drückt es das am En[de] von *M* hängende Gewicht *N* zu. S[oll] die Luftpumpe in Gebrauch genomm[en] werden, so wird der Kolben *ZZ* hoch wie möglich geschoben, dann das Ventil *I* geöffnet und mit Hilfe d[es] Trichters 22 der Raum zwischen Kolben und Deckel mit Wasser gefü[llt]. Auch in den Raum über den Deckel wird Wasser gegossen. Zieht m[an]

1) Papin, Augmenta quaedam et experimenta nova circa antliam pneumatica[m] facta partim in Anglia, partim in Italia, communicata a Dionys. Papino. Lond[on] ..., — Acta Eruditorum 1687. S. 324.

nun nach aufgesetztem Rezipienten den Kolben herab und öffnet das Ventil, so kann sich nach Papins Ansicht die Luft frei ausdehnen. Ist der Kolben an seiner tiefsten Stelle angelangt, so wird *I* geschlossen und die Luft, indem sich *C* bei wieder emporgedrückten Kolben öffnet, ausgetrieben, worauf von neuem gepumpt werden kann. Durch Herausziehen des Stiftes *F* kann alsdann wieder nach Belieben Luft in den Rezipienten gelassen werden.

Papin hatte richtig erkannt, dass das den Luftaustritt aus dem Rezipienten regelnde Ventil gesteuert werden müsse, während das der Luft den Austritt gewährende, wegen des unter ihm immer kräftig genug werdenden Luftdruckes dies nicht nötig hat. Die Luftpumpe von 1687 weist also bereits alle Elemente der Deleuilschen Luftpumpe freilich in noch ungeschickter Zusammenstellung auf. Dagegen lässt die Dichtung bei *L* mit Wachs zu wünschen übrig, wenn er sie auch bei anderer Gelegenheit verwendete, um einen in den Rezipienten reichenden bewegbaren Draht zu dichten. Völlig fehlerhaft erscheint die Benutzung von Wasser in einem Raum, der mit dem leer zu pumpenden in Berührung stand. Man ersieht daraus einmal, wie wenig klar Papin damals noch über das Wesen des Dampfes war und zum anderen, dass er nicht sehr hohe Ansprüche an den luftleeren Raum unter dem Rezipienten stellte.

6. Papins Anwendungen der Luftpumpe für technische Zwecke.

Papins Bestrebungen, die Errungenschaften der Physik in möglichst ausgiebiger Weise auch für die Technik nutzbringend zu machen, Bestrebungen, die Leibniz mit ihm teilte und die ihn zur Erfindung der Dampfmaschine führen sollten, traten bereits bei diesen Versuchen, die Luftpumpe zu verbessern, in solchem Maße hervor, dass es fast den Anschein hat, als habe er nur zu derartigen Zwecken die Luftpumpe verbessern wollen.

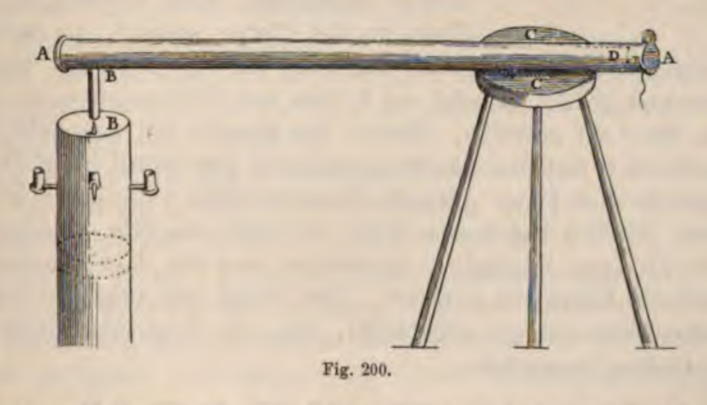


Fig. 200.

Zunächst änderte er die Windbüchse, wie es Fig. 200 zeigt, in der Weise ab, dass er anstatt des luftleer gemachten Rezipienten die Luft-

pumpe selbst an das Rohr anlegte. Über dem Rezipienten ist das Rohr durch eine Klappe, auf der anderen Seite durch ein Ventil verschlossen, hinter die Klappe wird die Kugel hereingebracht, die das Rohr abschließt. Ist das geschehen, so wird das Rohr ausgepumpt, die Luftpumpe abgesperrt und nun die Klappe geöffnet, der Luftdruck treibt dann die Kugel durch das Rohr, aus welchem sie, das Ventil aufschlagend, mit großer Geschwindigkeit entweicht[1]).

Brauchbarer für den nämlichen Zweck war die Windbüchse, die er bereits 1674 konstruierte und dabei als treibende Kraft die Expansion komprimierter Luft benutzte. Ganz neu war diese Art der Windbüchse nicht mehr. Aller Wahrscheinlichkeit nach war sie bereits um die Mitte des 16. Jahrhunderts von dem Nürnberger Mechaniker Hans Lobsinger erfunden; erst als das Interesse an der Luftpumpe erwacht, suchte man auch die Windbüchse mehr und mehr zu verbessern. Zu allgemeinerer Anwendung ist sie wohl außer bei dem Aufstande der Tiroler gegen Napoleon I. nie gekommen. Die Windbüchse[2]), die in Fig. 201 abgebildet ist, konnte zugleich als Kompressionspumpe benutzt werden. Der Lauf diente als Pumpcylinder, und es konnte zu diesem Zwecke ein massiver Kolben in ihm hin und her bewegt werden. In der Nähe seines offenen Endes C hatte er eine kleine Öffnung zur Aufnahme von Luft. Den Verschluss des Laufes nach dem Rezipienten A hin bildete eine durch eine Feder E an die Öffnung des Rohres DF angepresste Klappe D. In diesem Rohre bewegt sich ein kleiner Kolben, durch den ein dicker Eisendraht geht, welcher mit einem Ende an der Platte befestigt, am anderen zu einer Schlinge umgebogen ist. Ist nun der Rezipient mit zusammengepresster Luft gefüllt, so wird der Kolben aus BC herausgezogen und die Kugel in den Lauf gestoßen, alsdann das Gewehr mit der seitlich angebrachten Platte G auf die Schulter gelegt und nun plötzlich auf die Ventilstange mittels einer Feder JH, die für gewöhnlich von einer Schlinge gehalten nun plötzlich losgelassen wird, ein Stoß ausgeübt. Dadurch wird die Platte D einen Augenblick abgedrückt und die dabei heraustretende Luft treibt die Kugel vor sich her. Dem Ventil gegenüber ist ein besonderer Schraubenverschluss angebracht, der sein bequemes Einsetzen und besseres Dichten ermöglicht.

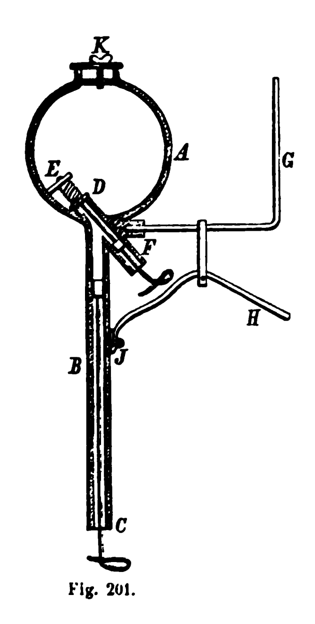


Fig. 201.

1) Papin, Philosophical Transactions 1686. XV. No. 179. S. 21.

2) Birch, History of the Royal Society. III. Vgl. Boyle, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genevae 1682. Icon. II. Fig. 4.

Die Lösung einer Aufgabe, welche der bereits mehrfach erwähnte württembergische Rat Reisel »denen Curiosis« vorgelegt hatte, ließ Papin 1684 das Prinzip der Sprengelschen Quecksilber- und Bunsenschen Wasserluftpumpe aussprechen. Reisel hatte verlangt, einen Heber zu konstruieren, an dessen höchste Stelle das Wasser abgelassen werden könne, Papin[1]) übersah sofort, dass dies mit Hilfe der an der höchsten Stelle des Hebers stattfindenden Druckverminderung möglich sein müsse. Er brachte also daselbst ein Gefäß an, welches oben durch ein mittels eines Hahnes verschließbaren Rohres mit dem Heber, unten durch ein ebensolches mit der äußeren Luft in Verbindung gesetzt werden konnte. Öffnete er, während der Heber in Thätigkeit war, den oberen Hahn, so wurde die Luft aus dem Gefäße mitgerissen, es drang Wasser dafür ein; nach Schluss des oberen Hahnes konnte er es durch den unteren herauslassen. Hätte er statt des Heberrohres ein gerade gestrecktes verwendet, so wäre der Apparat eine Wasserluftpumpe gewesen.

Indessen hatte die Technik damals dasselbe Prinzip im großen, aber zu entgegengesetztem Zwecke angewendet, zum Betriebe von Gebläsen. Den Apparat fand Pape in den Hüttenwerken von Tivoli im Gebrauche, und berichtete[2]) darüber 1665 an Wilkins. Die dazu gehörige Figur ist in Fig. 202 wiedergegeben. *A* ist ein Fluss, der in das senkrechte Rohr *BCD* geleitet ist und, unten austretend, zugleich einen breiteren Raum einnimmt. Von *BCD* geht ein seitliches Rohr mit der durch einen Stöpsel *F* verschließbaren Öffnung *E* ab, aus dessen Ende *K* ein kräftiger Luftstrom hervortritt, welcher den Ofen mit Wind versorgt.

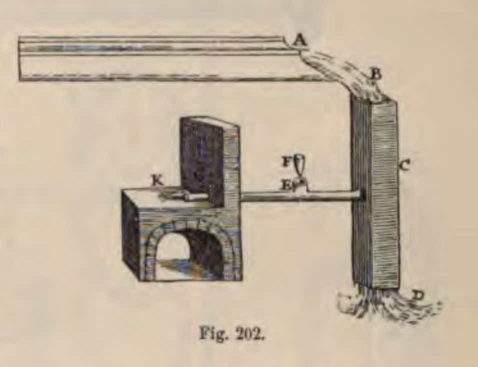


Fig. 202.

Wird *F* geöffnet und *K* geschlossen, so tritt er aus *E* hervor. Es ist die vom Bache auf dem Wege *AB* mitgerissene Luft, die emporzusteigen strebt. Sie benutzt demnach jeden Ausweg. Zu allgemeinerer Verwendung war aber dies Gebläse nicht gekommen.

Aber auch Papins Idee blieb damals, was sie war, ein schöner Gedanke, den erst die Neuzeit wieder selbständig aufgenommen hat. Nicht besser ging es mit zwei anderen Maschinen, bei denen er die Luftpumpe zu verwenden gedachte. Nicht als ob die Aufgaben ungeschickt gewählt gewesen wären, aber die zur Verfügung stehenden Mittel reichten zu ihrer Lösung nicht aus, die erst unserer Zeit gelungen ist. Es handelte sich um keine geringeren Probleme als die Erzeugung starken Druckes zum

1) Papin, Philosophical Transactions. Nov. 1684. No. 167. S. 847.
2) Philosophical Transactions. Vol. I. 1665. No. 2. S. 21.

Auspressen von Öl u. s. w., und die Arbeitsübertragung auf größere Entfernungen. Die Presse[1] zeigt Fig. 203. Ihre Konstruktion ist ohne weiteres klar; sie lässt erkennen, dass sie untauglich war, Gegenstände zusammen zu drücken, aber sehr brauchbar, wenn es sich um das Auspressen von Flüssigkeiten handelte. Jedenfalls stellt sie einen wichtigen Fortschritt gegen die damals allein übliche Schraubenpresse dar, deren Fehler Papin in der zu großen Reibung, in dem Umstande, dass bei stärkerem Anziehen die Schraube an Kraft verliert, und in der zu großen Druckfläche erkannt hatte.

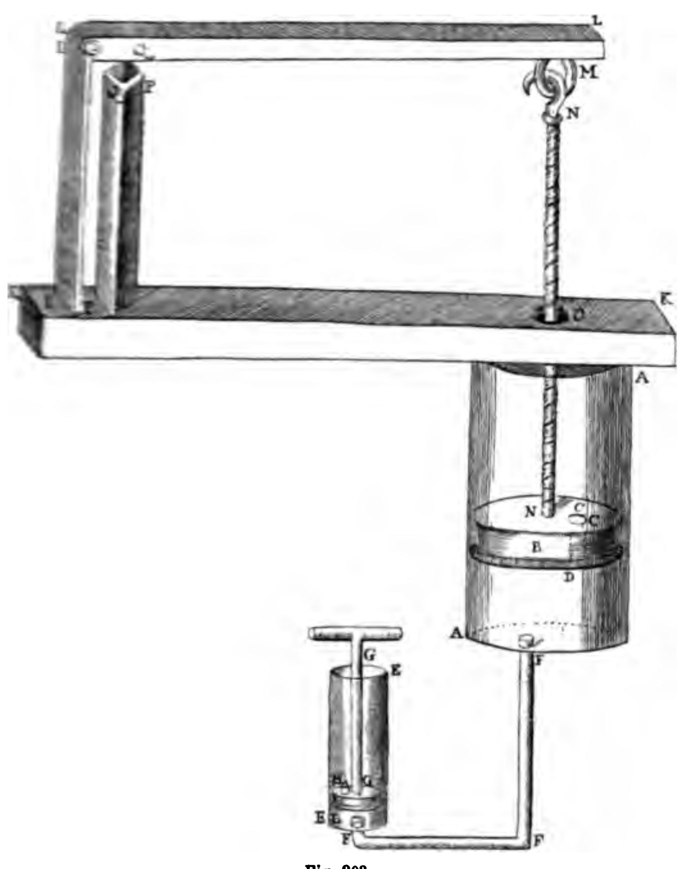


Fig. 203.

Den Plan, Arbeit auf größere Entfernungen zu übertragen, hatte Papin bereits im Jahre 1685 gefasst, einen verbesserten Entwurf legte er 1688 der Royal Society vor[2]). Von den bisherigen besprochenen Vorschlägen

[1]) ...ch, History of the Royal Society. IV. S. 529.
[2]) ... Nouvelles de la Republique des Lettres 1688. X. S. 1308. Acta ... Dec. S. 644. Recueil de diverses Pièces touchant quelques

zur Ausnutzung der Luftpumpe unterschied sich dieser dadurch, dass er eine technische Aufgabe von großer Wichtigkeit zu lösen unternahm. Sein Urheber unterbreitete ihn dem Grafen Solms-Braunfels als ein Mittel, die Grubenwässer eines von dessen Bergwerken mit Hilfe der Kraft, die ein nicht zu entfernter Bach liefern sollte, zu bewältigen. Wie dies geschehen sollte, zeigt Fig. 204. Die zweimal gekröpfte Welle *PP* des Wasserrades *GG* sollte eine Ventilluftpumpe mit zwei Stiefeln *OR* treiben, die die Luft aus dem Rohre *R* zu pumpen hatten. An dem Orte, wo gepumpt werden sollte, endete es in dem Vierweghahn *SS*, von dem die beiden Rohre *NN* und *MM* zum Boden der Cylinder *JJ* und *LL* gingen und abwechselnd den einen mit der Luftpumpe, zugleich den anderen mit der äußeren Luft in Verbindung setzten. Der eine der in diesen Cylindern sich bewegenden Kolben wurde dadurch herabgezogen und erteilte der Welle *DD* und dem auf ihr sitzenden Rade *AA* mittels der darum geschlungenen Seile *FF* eine hin und her

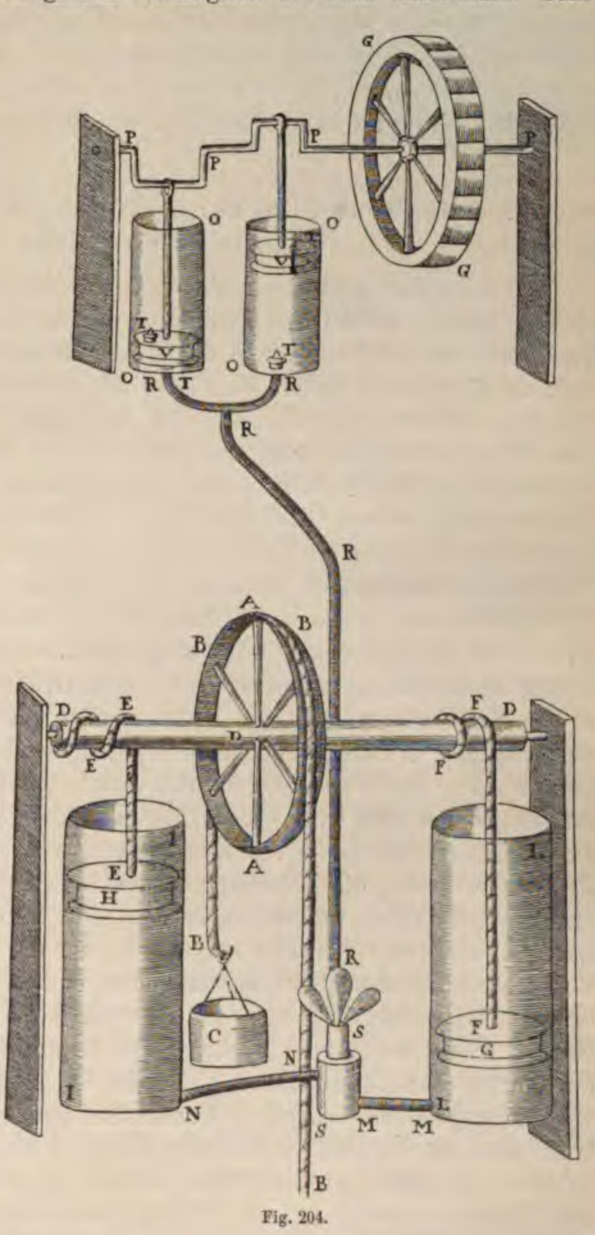


Fig. 204.

nouvelles Machines. No. 3. Cassel 1695. Fasciculus dissertationum de novis quibusdam machinis atque aliis argumentis philosophicis. Marp. 1695.

gehende Bewegung. Über das Rad war das Seil BB gelegt, an dess Ende die Eimer C hingen, von denen der eine gefüllt nach oben, der ande zugleich leer nach unten ging. So sprach hier Papin zum erstenmale ei Idee aus, die, wenn auch unvollkommen, doch zu seiner Zeit zu verwirk lichen gewesen wäre, die jetzt unter Anwendung von Pressluft und namen lich mit Elektrizität häufig durchgeführt worden ist.

7. Leibnizens Plan zur Wältigung der Grubenwasser. Die Feuerspritze.

Der eben dargelegte Plan Papins lässt die Schwierigkeiten recht v Augen treten, welche der Bergbau seiner Zeit, die kräftige Bewegung maschinen nur in den Flügeln der Windmühlen und den Wasserrädern b saß, zu überwinden hatte. Nur mit Hilfe der letzteren konnten die Grube pumpen betrieben werden, und das Andringen der Grubenwasser macht den Abbau unmöglich, wenn das Aufschlagwasser für die die Pumpen tre benden Räder fehlte. Mit solchem Mangel hatten gegen Ende des 17. Jah hunderts nicht selten die Werke des Oberharzes zu kämpfen und Leibni der großes Interesse an ihnen nahm, war ernstlich darauf bedacht, diese Übelständen abzuhelfen. Er kam 1678 auf den Gedanken, mit Hilfe vo Windmühlen das Wasser aus einem niedrig gelegenen Behälter zu hebe so oft der Wind dies möglich machte, und das so gewonnene Gefälle vo neuem zu benutzen. Aber er hielt diesen Gedanken so lange geheim, bi er die Erlaubnis, seine Versuche anzustellen, und die Zusicherung, dafü eine von den Werken zu leistende Zahlung zu bekommen, erhalten hatt Da er aber vorher einleitende Schritte bei der Bergbehörde hatte thu müssen, dabei auch von Windmühlen die Rede gewesen war, so hatte e zu dem Missverständnisse Veranlassung gegeben, es handele sich bei seinen Plane nur darum, die Schachtpumpen statt wie bisher durch Wasserräde durch Windmühlen treiben zu lassen. Als er dann endlich mit seinen wahren, schönen Gedanken hervortrat, konnte man sich von seiten de Bergbehörde nicht sogleich darein finden und bestand hartnäckig darauf dass Leibniz den Versuch, die Pumpen durch Windmühlen treiben zu lassen, zuerst ausführe. Mochte diese Hartnäckigkeit wohl zum Teil in der gewiss etwas kränkenden Weise, in der Leibniz die Sache der Berg behörde gegenüber behandelt hatte, ihre Erklärung finden, die letzter hoffte auch so der lästigen Auflage, Leibniz eine lebenslängliche »Ergötz lichkeit« zu zahlen, zu entgehen. Diesem blieb nichts anderes übrig, al den Versuch auszuführen, der mißlang, und auch hätte mißlingen müssen, selbst wenn der Wind glimpflicher mit den Windmühlenflügeln, die er teil weise zerstörte, verfahren wäre, oder man ihm weniger Schwierigkeiten von der Gegenseite gemacht hätte, denn die Windmühle kann man nu benutzen, wenn der Wind weht, zum dauernden Wasserheben bedarf man aber einer ganz gleichmäßig, ohne Stoß wirkenden Kraft. Die vielen

Ärgernisse bei diesen Versuchen nahmen aber beiden Teilen, je länger, je mehr, die Lust an ihrer Fortsetzung, zur Ausführung der eigentlich von Leibniz geplanten kam es überhaupt nicht mehr, und beide Teile waren froh, als auf herzoglichen Befehl am 5. April 1685 die Arbeiten gänzlich eingestellt wurden [1]).

Nicht besser ging es mit einem anderen Plane, dessen Ausführung Leibniz 1685 unternahm und der die zum Heben der Grubenwasser benutzten Wasserräder zugleich zum Heben der Erze benutzen wollte [2]). Für eine Geschichte der Experimentierkunst haben sie jedoch ein viel untergeordneteres Interesse, wie die Versuche mit der Windmühle, und das um so mehr, als Leibniz sie nicht wie jene zum Ausgangspunkte neuer wichtiger Pläne gemacht hat. Nach einem so ärgerlichen Mißlingen hätten wohl wenige Menschen die ganze Angelegenheit nicht verdrießlich bei Seite geschoben. Dass sich Leibniz so ganz anders benahm, lässt besser wie alles andere die Elastizität und Fruchtbarkeit seines Geistes erkennen. Er ruht nicht, bis er über den Grund des Mißlingens klar geworden ist, bis er einen neuen Plan ausgearbeitet hat, der besseres verspricht. Am 5. April 1685 waren die Versuche eingestellt, in seinen Papieren in der Bibliothek zu Hannover findet sich bereits unter dem Datum des 20. April ein Blatt, welches die Aufschrift trägt: »Windmühlen, so das Wasser bei Bergwerken aus tiefen Gruben ziehen sollen«, und welches gleichsam als Devise die zugefügten Worte trägt: »Habe es besser ausgesonnen«. Das Blatt enthält aber die Ideen zweier Erfindungen, die die Maschinenkunde längst von neuem gemacht hat.

Der neue Vorschlag geht dahin, »dass der primusmotor nicht immediate das Feld- und Grubengestänge bewege, sondern nur eine gewisse Last in die Höhe hebe, welche von selbst wieder niedergehe und dadurch das Gestänge ziehe. Denn dergestalt bleibt der Zug allezeit gleich, weil einerlei pondus, so allezeit einerlei resistenz findet, auch allezeit gleich geschwinde hinabgehet; hingegen nachdem der Wind schwach oder stark, kann man solches pondus geschwind oder langsam wieder in die Höhe heben und aufziehen und also noch mit sehr gelinden, so fast allein capabel die Flügel und Wellen umbzutreiben operieren doch jedesmal in gewisser Zeit weniger oder öffter nach proportion der Kraft des Windes. Und kan man dergestalt auch geringen Wind soviel es möglich zu Nuze bringen und doch einen gleichförmigen Zug erhalten, dessen Ermangelung das einzige so bisher die vorteilhafte Application der Windkräfte bei Bergwerken verhindert haben mag«.

---

1) Calvörs historisch-chronologische Nachricht und theoretische und praktische Beschreibung des Maschinenwesens und der Hilfsmittel auf dem Bergbau bei dem Oberharze. 1763. S. 105 ff. — von Trebra, Des Hofraths von Leibnitz misslungene Versuche an den Bergwerksmaschinen des Harzes in dessen Bergbaukunde. 1789. I. S. 312 ff.

2) von Trebra, a. a. O. II. S. 299.

Auf mehrere Weisen könnte diese Idee praktisch ausgeführt werden. Man könne z. B. eine schiefliegende kreisförmige Scheibe, welche an der von den Windmühlenflügeln gedrehten senkrechten Welle befestigt ist, benutzen, um durch sie in Führungen gehende Stangen herabzudrücken, die dann wieder auf die kurzen Enden zweier ungleicharmiger Hebel drücken und dadurch deren lange und schwere Enden heben. Wieder herabsinkend sollten diese auf den einen oder anderen Arm eines zweiten Hebels wirken und so abwechselnd die Kolben zweier Pumpen heben. Im Verlaufe seiner Überlegung kam Leibniz jedoch auf die einfachere Idee, die er in einer Fig. 205 wiedergegebenen Zeichnung niedergelegt hat und folgendermaßen erläutert« [1]. »Der krumme Zapfen *34* schiebet den Bleyel *34 35* zum Hause [2]) hinaus, alwo er unter den Windmühlenflügeln hingeht. Dieser Bleyel stoßet mit der rolle *36* auf das halbe Kreuz bey *28* und bewegt damit den langen Baum *17 19* in die Höhe, im Rückgehen gehet der Bleyel mitsamt der rolle *36* etwas auff die seite und einen anderen Weg, als er kommen und hindert dahehr nicht das *28* wieder durch Niedergehen des langen Baumes zurückgehe. Gedachte Rolle *36* treibet im Rückgehen das halbe Kreuz des andern langen Baumes« (der nicht gezeichnet ist) [3]).

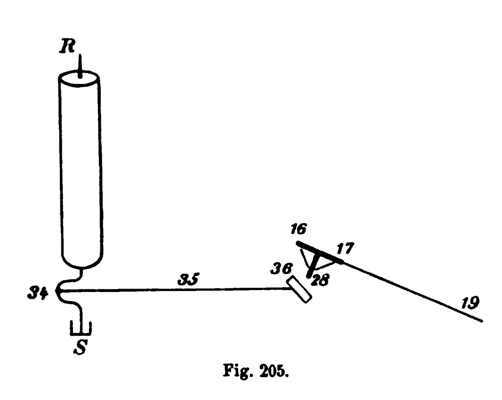


Fig. 205.

Mit dieser im allgemeinen ausgesprochenen Idee ließ Leibniz die Sache ruhen; er hat auch nichts weiter darüber veröffentlicht. Zur Würdigung seiner Art zu arbeiten, seines klaren Blickes in die mechanischen Verhältnisse ist diese Scheda, Skizze, wie er die kleine Abhandlung bezeichnet, von unschätzbarem Werte. In ihr dürfte einmal zuerst die Idee ausgesprochen sein, die später in den Wasserhaltungs- und Pumpmaschinen so häufig verwendet worden ist, die einzelnen, aufeinander wirkenden Teile nicht in dauerndem Zusammenhange zu lassen, ihre Bewegungen vielmehr denen der zu hebenden Wassermassen anzuschließen, und zum andern das Prinzip des Akkumulators zuerst auftreten, das darin besteht, Arbeit in einem gehobenen Gewichte aufzuspeichern und diese zur gelegenen Zeit wieder zu verwenden.

Neben diesen allgemeinen Prinzipien galt sein lebhaftes Interesse aber auch allen in betracht kommenden Einzelheiten. Der empfindlichste Teil

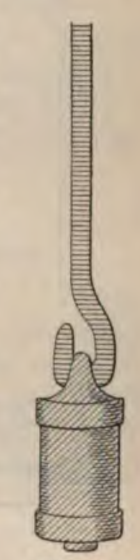
1) Vol. A. 57 und 61.

2) In dem die Welle *RS* aufgestellt ist.

3) Ausführlicher dargestellt von Gerland, Berg- u. Hüttenmännische Zeitung. 1898. S. 225 und 243.

der Pumpe ist der Kolben, ihn zu verbessern, hat sich deshalb Leibniz viele Mühe gegeben. Namentlich suchte er die Kolbenreibung soviel wie möglich herabzusetzen. Seine mannigfachen Vorschläge hat er aber nicht veröffentlicht. Bei einem derselben wollte er die Liderung ganz weglassen und dem mit Saugventil versehenen Kolben mittels einer ihn durchsetzenden eisernen Stange eine Leitung geben. Sänke dann auch zwischen Kolben und Stiefelwand beim Aufsteigen des Kolbens Wasser wieder herab, so sei das wenig, und der Vorteil doch bedeutend, da die zur Überwindung der Kolbenreibung nötige Arbeit gespart werde.

Wäre nun die Annahme eines derartigen Vorschlages bei ununterbrochen arbeitenden Pumpen denkbar gewesen, so war sie für andere Pumpen, so namentlich für die Feuerspritzen, ganz ausgeschlossen. Dass man aber in damaliger Zeit für solche bereits über Kolben verfügte, die den gegenwärtig benutzten sehr ähnlich waren, beweist eine Zeichnung, die sich in den von Leibniz hinterlassenen Papieren findet[1]) und die Überschrift: »von Hrn gengenbach zu Zeitz« trägt. Fig. 206 stellt die Ansicht des Kolbens dar, Fig. 207, S. 214, in $\frac{1}{4}$ des Maßstabes des Originales seinen Durchschnitt. Folgende Beschreibung ist beigegeben: »*aa* ist von ligno sankto gedreht, *bb* ist Korck oder Gurck umher und mit hölzernen Stifftgen befestigt; *cc* ist von dem besten sogenannten Pfund Leder zweymal übereinander umher tichte angemacht mit hölzernen Stifftgen, doch, dass es etwas über dem Korck vorgehe, wie bei *dd* zu sehen; *ee* ist eine Messinc Scheibe mit der Mutter *ff*; den mittleren Kloben *g* mit dem kleinen Schräubgen *hh* anzuziehen und zu befestigen; *s* ist das löchlein zu *h*; in *k* wird die eiserne Stange zum aufziehen und drücken nur mit einem Haken eingehengt. Wie ins Kleine bei *L* gezeichnet zu sehen. — Wenn nun ein solcher Kolben im Stiefel etwas zu willig von vielen Gebrauch geworden, so wird der Kolben auf etwas in die Höhe gesetzt, das Leder mit einem Hammer etwas zusammen geklopft, so dauert es hernach wieder gute Zeit und wird also wieder wohl gedränge schlüssend«. Auch ohne die Buchstaben wird sich der Leser leicht in die Beschreibung finden. Der mittlere Ring ist der Kork, die schräg schraffierten doppelten Lagen sind die Lederringe, die senkrecht schraffierten Teile bestehen aus Messing.


Fig. 206.

Die Feuerspritze, zu deren Betrieb der Kolben dienen sollte, war um die Mitte des Jahrhunderts durch den Nürnberger Zirkelschmied Hans Hautsch (gest. 1670), einen »inventiösen und künstlichen Mann« dadurch sehr verbessert, dass sie den Windkessel zugefügt erhalten hatte[2]). Die

1) Vol. E.
2) Joh. Neudörffer, Nachrichten von den Nürnberger Künstlern, so innerhalb

älteste Abbildung des so verbesserten Apparates hat wohl Böckler[1]) gegeben, aber er sowohl wie Monconys, der sie als etwas Neues in Antwerpen sah, bildet nur den wohl verschlossenen Kasten ab, ohne über die sonstige Einrichtung etwas mitzuteilen. Diese wurde noch geheim gehalten, und so sehen wir auch bei Leupold, der die Hautschsche Einrichtung etwas abänderte, davon nichts. Am 1. Mai 1655 kündigte Hautsch seine neue Spritze an[2]), und schon in dem nämlichen Jahre sah Schott[3]) eine solche in Verwendung. Wie für alles, was das allgemeine Wohl zu fördern geeignet war, interessierte sich Leibniz sehr für sie. »Ich habe hier, wie Sie«, schreibt er am 4. Febr. 1707 an Papin[4]), »die Anwendung der zusammengepressten Luft vorgezogen (nach der Hautsch in Nürnberg gehörenden Erfindung der Feuerspritzen, welche einen dauernden Wasserstrahl werfen«). Das sind so viele und schwer wiegende Zeugnisse für die Zufügung des Windkessels zur Feuerspritze in der Mitte des 17. Jahrhunderts, dass die

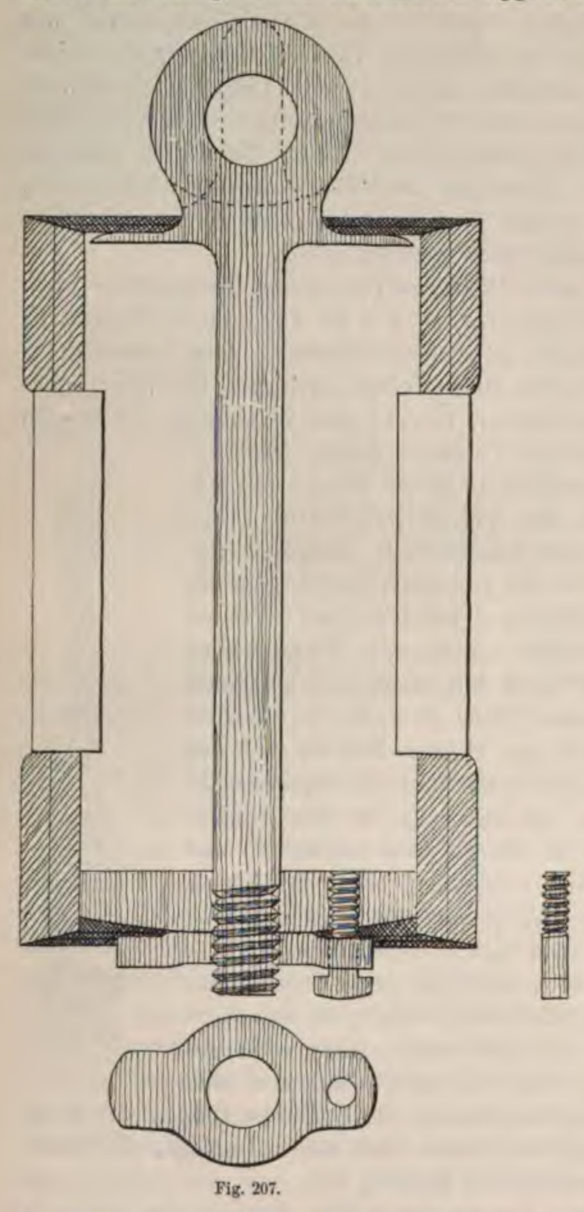


Fig. 207.

hundert Jahren in Nürnberg gelebt haben. 1546, nebst der Fortsetzung von Gulden 1660. Abgedruckt nach einer alten Handschrift in der Campeschen Sammlung. Nürnberg 1828.

1) Böckler, Theatrum Machinarum novum. Nürnberg 1661. Taf. 154.

2) Magirus, Das Feuerlöschwesen in allen seinen Teilen. Ulm 1877. S. 451.

3) Schott, Magia universalis n[illegible] et artis. Herbipoli 1657.

4) Gerland, Leibnizens und H[illegible]echsel mit Papin etc. Berlin 1881. S. 373.

lange festgehaltene Ansicht, die Alten hätten bereits die Feuerspritze mit Windkessel besessen, mit Sicherheit in das Reich der Fabel zu verweisen ist. Was an ihm lag, that Leibniz, um dem neuen Apparate die weiteste Verbreitung zu verschaffen. Er erwirkte vom König Friedrich I. von Preußen für die von diesem gestiftete Akademie der Wissenschaften in Berlin ein Privileg [1]), durch welches ihr »die einführung und besorgung der rechtschaffenen Feuerspritzen dergleichen noch nicht gebräuchlich« aufgetragen wurde.

War so der Apparat bald allgemein bekannt geworden, so war man sich über seine Wirkungsweise doch noch 1724 in fachmännischen Kreisen durchaus nicht klar, sonst hätte nicht damals der Leipziger Mechaniker Leupold [2]) darüber schreiben können: »Es ist aber zu wissen, dass solche Spritzen nicht so hoch gehen, als eine Spritze mit gleicher Kraft, die keinen Windkessel hat und nur beim Niederdrücken gießet. Denn gleich wie das Wasser geteilet wird, so auch die Kraft, ja, je größer der Windkessel, je besseren Effect tut solcher und je gleicher ist der Ausguß vom Wasser«. Auch ist es nur so verständlich, dass Du Fay 1725 es für eine neue Konstruktion erklären konnte, als er den Stiefel der einstiefeligen Pumpe im Innern des Windkessels anbrachte, und so wohl eine bequeme Handspritze zu Wege brachte, aber weder eine Verbesserung, noch eine wesentliche Neuerung erhielt.

8. Papins Erfindung des Centrifugalventilators und des Taucherschiffes.

Die Unzulänglichkeit der gewöhnlichen Pumpen in allen den Fällen, wo es darauf ankam, rasch einigermaßen große Wassermassen zu heben, hatte schon in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts auch auf andere Wege sinnen lassen, auf denen man dies möglich zu machen hoffen durfte. Man war darauf gekommen, in wasserdicht geschlossenen Kapseln, die das Wasser passieren konnte, mit ihren Schaufeln ineinander greifende Rädchen, verschiebbare Platten u. s. w. anzubringen, die sich rasch bewegend das Wasser fortschafften. Man nannte diese Pumpen Kapselkünste, und die älteste uns bekannte, die Pappenheimsche Kapselkunst bildet Schwenter [3]) ab, wie es Fig. 208 zeigt und beschreibt sie folgendermaßen: »Eine Machina hat zwey außgekärbter Rädlein *AB*, welche man in eine ablange rundung *CD* einsperret, solchergestalt, dass die Zäne dess einen



Fig. 208.

1) O. Klopp, Die Werke von Leibniz. I. Reihe. 10. Bd. Hannover 1877. S. 451.
2) Leupold, Theatrum Machinarum Hydraulicarum. 1724. T. I. S. 210.
3) Schwenter, Deliciae physico-mathematicae. 1636. S. 485.

Rades sich in die Zäne dess andern in vmbträhen gantz geheb einschlüssen, vnd beede an den ablangen Geschirr auch gantz gheb anligen, dass nirgend kein Lufft oder Wasser dazwischen kommen könne, weder in der mitte oder auff der seite. An einem jedwedern Rädlein hat es eine Handhaben, welche man außerhalb dess Kästleins kan herumbtrehen, die Handhaben aber dess Rädleins *B*, machet wann das Rädlein *B* getrehet wird, dass sich das Rädlein *A* mit vmbtrehe, doch widersinns, vnd durch eine solche contraribewegung, wird der Lufft vnd das Wasser durch die höle der Rädlein, von einer seiten zur andern getragen. Wann nun die Rädlein fort und fort vmbgetrieben werden, wird das Wasser gezwungen über sich zu steigen, vnd durch die Röhren *F* außzusprützen, wohin man will.«

Eine andere solche Kapselkunst hatte Prinz Ruprecht von der Pfalz angegeben und Wasserriegel genannt[1]). Sie ist in Fig. 209 dargestellt

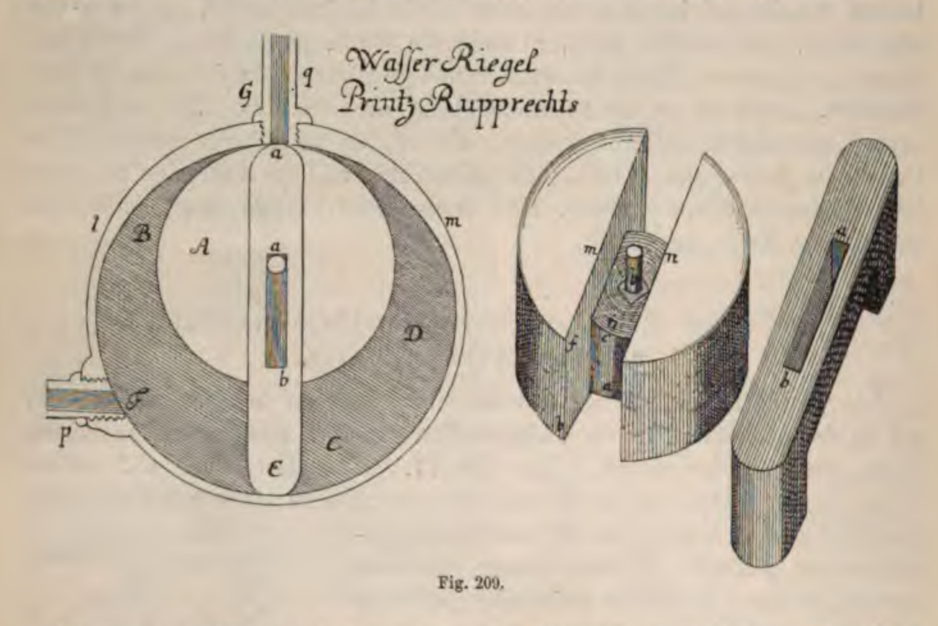


Fig. 209.

und pumpt das Wasser, indem ein in der Kapsel excentrisch angebrachter Cylinder, dessen Höhe dem Abstande der Seitenwände der Kapsel genau gleich war, einen in der letzteren angebrachten Kulissenschieber bewegt, dessen Fläche, da sie immer Sehnenfläche des Cylinders bleibt, diesen stets in zwei Teile teilt, von denen der eine sich vergrößernde das Wasser ansaugt, während es aus dem anderen sich gleichzeitig verkleinernden in das Steigrohr gepresst wird. Ein Modell dieses Wasserriegels sah 1663 Monconys[2]) in Kassel, woselbst es sich noch in der Sammlung des

1) Leupold, Theatrum Hydraulicarum. I. S. 123.

2) Monconys, Journal des Voyages. II. S. 209. Vgl. Cüster und Gerland, a. a. O. S. 11, und Gerland, Wiedemanns Annalen 1879. VIII. S. 365.

Königlichen Museums befindet, erfuhr aber auch, dass der Gouverneur dieser Stadt Brustrop von Schört die Erfindung für sich in Anspruch nahm.

Eine dritte solche Kapselkunst hatte 1684 der bereits erwähnte württembergische Rat Reisel[1]) unter sorgfältiger Geheimhaltung ihrer Einrichtung veröffentlicht und aufgefordert, diese zu erraten. Erst 1690 teilte er die Einrichtung dieser Maschine mit. Der Rotatilis suctor et pressor Württembergicus, wie Reisel seinen Apparat, den Fig. 210 darstellt, nannte, pumpt das Wasser, indem an einem Rade *BD* befestigte Klappen *NN* durch Federn gegen die Innenwand der Kapsel angedrückt werden und so am Saugrohr *HH* vorbeigleitend hier das eingetretene Wasser aufschöpfen und nach *A* zur Mündung des Steigrohres *AI* führen. Hier verengt sich aber der Kapselraum, die Klappe *L* wird mehr und mehr an die Kapselwand angepresst und bei *M* und *M* schließt sie den Raum ganz ab. Bei *K* aber erweitert er sich wieder, die Feder öffnet die Klappe und das Spiel kann von neuem beginnen.



Fig. 210.

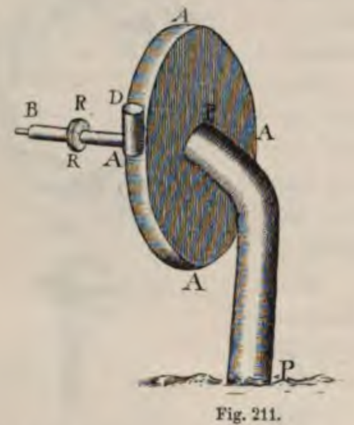
Auf diese sehr komplizierte Idee kam Papin natürlich nicht, als er sich 1689 anschickte das von Reisel gestellte Problem zu lösen; aber hätte das auch der Zufall gewollt, er hätte sie gewiss bald wieder fallen lassen, jedenfalls nicht ausgeführt, denn von Haltbarkeit konnte doch dabei nicht die Rede sein. Sein Plan war ein anderer, wie er dem Schüler Huygens' näher liegen musste, es war die längst wieder erfundene oder aufgefundene Centrifugalpumpe[2]), deren erste Form Fig. 211 und 212, S. 218, in der äußeren Ansicht und mit weggenommener Rückenplatte zeigt. Papin beschreibt sie folgendermaßen[3]): »Diese Maschine

1) Reisel, Acta Eruditorum. 1690. S. 143. Tab. V. Fig. 4.

2) Papin, Acta Eruditorum. 1689. S. 317. Recueil u. s. w. S. 2.

3) Nach der Übersetzung Leupolds in Theatrum Machinarum Hydraulicarum. Tom. I. Leipzig 1724. S. 127 und Tab. XLIIX. Fig. I und II.

bestehet aus einem eintzigen cylindrischen Gefäße von geringer Tiefe *AAAA*, durch dessen Centrum eine Achse *BB* gehet, an welche Flügel *CCC* gemachet sind, welche von besagter Achse umgetrieben werden und accurat an dem Umschweif anschließen, und denselben doch nicht berühren, so gar, dass dennoch die Flügel, wenn auch das Gefäße nicht beweget wird, können umgetrieben werden. Hieraus siehet man, dass, in sofern gemeldete Achse zugleich mit denen Flügeln herumgehen muss, zugleich auch das in dem Gefäß *AAAA* enthaltene Wasser notwendig müsste umgetrieben werden



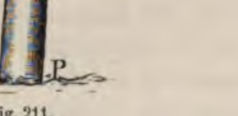


Fig. 211.

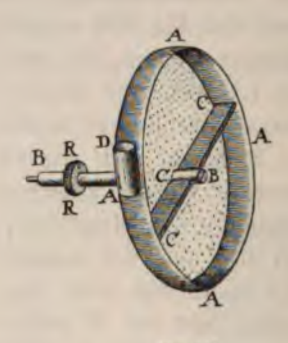


Fig. 212.

und dahero ohne Aufhören von dem Centro zurückweichen ... Hieraus folget nun, dass wenn das Gefäße *AAAA* recht feste zugemachet wird und einige Löchergen bei der Achse aufgelassen werden, durch welche das Wasser von außen eindringen kan, und in dem Rande ein anderes Loch gemachet wird, an das ein Tubus *AD* nach der Richtung der rührenden Linien gemachet wird, so folget, dass das Wasser, wenn es in dem Gefäße *AAAA* umgetrieben wird, durch die empfangene Kraft in den Tubum *AD* eindringet und hernach so hoch steiget, als die Cörper, wenn sie durch dergleichen Schnelligkeit bewogen werden, nach derselben Regierung kommen können.«

Papins Maschine unterscheidet sich also von den bisher beschriebenen Apparaten dadurch, dass das Wasser an der Achse der rotierenden Flügel eintritt, nach mehreren Umdrehungen eine sich immer vergrößernde Geschwindigkeit erlangt und endlich in tangentialer Richtung weggeschleudert wird. Versuche, die Reisel mit dieser »einfachsten aller Maschinen« anstellte, fielen zu dessen vollster Befriedigung aus, ebenso berechtigte ihre Ausführung im großen bei Allendorf an der Werra zu den schönsten Hoffnungen.

Doch fand Papin[1]) selbst, dass sie nicht nur verbesserungsfähig, sondern auch verbesserungsbedürftig sei. Zunächst erhöhte er ihre Wirkung da-

1) Papin, Philosophical Transactions. 1705. Vol. 24. S. 1990.

durch, dass er statt der zwei vier Flügel anwendete, wie Fig. 213 zeigt. Dann aber erkannte er ganz richtig, dass nur in der zum Ausflussrohr senkrechten Stellung der Schaufel das Wasser in der Richtung der Berührungslinie weggetrieben werde, in allen anderen aber nicht, dass die bisher dargestellten Ausführungsarten also große Reibungswiderstände überwinden müssten. Diesem Übelstande suchte er nun nicht, wie dies später geschah, durch eine zweckmäßigere Form der Schaufel abzuhelfen, sondern vielmehr dadurch, dass er der Hülle, wie dies Fig. 214 vor Augen führt, eine spiralische Form gab. Er nannte die Pumpe, durch Reisels Vorgang veranlasst, den Suctor et pressor Hassiacus. Wenn er dafür wohl auch die Bezeichnung des hessischen Blasebalges benutzte, so ist es doch zu verwerfen, wenn dieser Name auch jetzt noch beibehalten wird[1]). Denn nachdem seit der ersten Londoner Weltausstellung die Centrifugalpumpe ein weit verbreiteter Apparat geworden ist, man unter einem Blasebalg aber ganz etwas anderes versteht, so haben wir allen Grund, den Apparat als das zu bezeichnen, was er ist, wenn wir Papins Eigentumsrecht auf die Erfindung der Centrifugalpumpe zur Anerkennung bringen wollen. Es ist dies um so wichtiger, als die treffliche Maschine nach ihrer Erfindung nicht zur Verwendung kommen konnte, da es an einem Motor fehlte, der ihr die nötige rasche Bewegung hätte erteilen können. Diesen herzustellen war zunächst Bedürfnis, und wir werden sehen, dass die zu diesem Zwecke unternommenen Arbeiten zu der Erfindung der Dampfmaschine führten.

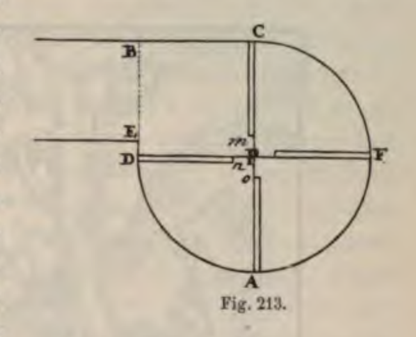


Fig. 213.

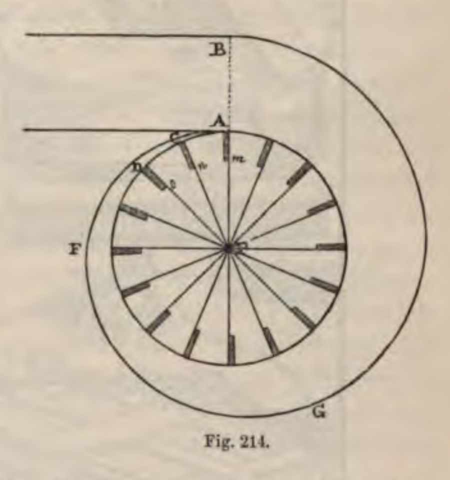


Fig. 214.

Einstweilen stand jedoch nichts im Wege den neuen Apparat als Ventilator zu benutzen. Die Frage nach genügender Lufterneuerung war für den Bergbau nicht weniger wichtig, wie die einer ausgiebigen Sümpfung, wie der Bergmann das Auspumpen der Grubenwasser nennt, ihre Lösung war eine Lebensbedingung für viele Gruben, und so fehlte es denn auch nicht an Vorschlägen, sie ins Werk zu setzen. Der Joachimsthaler Arzt Agricola

1) Wie dies Wintzer in D. Papins Erlebnisse in Marburg, Marburg 1898, thut.

(1490—1555) führt in seinem berühmten 1550 erschienenen Buche De Re metallica, das den Bergbau seiner Zeit ausführlich schildert[1]), eine ganze



Fig. 215.

Reihe solcher Ventilatoren an, darunter auch den in Fig. 215

1) Agricola, De re metallica. Basileae 1556. S. 161.

den man auf den ersten Blick für einen Centrifugalventilator halten möchte. Doch ist er das so wenig, dass seine Wirksamkeit vielmehr vollkommen Null ist. Wohl drehen sich wie bei Papins Apparat in seinem flach cylindrischen Gehäuße AC Arme mit Schaufeln, aber die Luft musste unten ein und oben austreten, wenn der Apparat saugend wirken sollte und zu beidem fehlt ihr jeglicher Antrieb. Das findet auch Th. Beck[1]) in seiner Besprechung der Leistungen Agricolas. Aber mit der Annahme, dass Agricola oder der Kupferstecher sich bei Beschreibung oder Mitteilung des Apparates geirrt habe, da ja der erstere ihn in Thätigkeit gesehen habe und er also brauchbar gewesen sein müsse, wird er dessen Apparat nur retten können, wenn er Agricolas Zuverlässigkeit preisgiebt. Dann aber verliert ja die Sache selbst jedes Interesse. Viel näher liegt die Annahme, dass sich Agricola und noch mehr wohl seine Gewährsmänner getäuscht haben, was ja bei einer Maschine, die über Tage arbeitet und unter Tage ihre eigentliche Wirkung bethätigen soll, so überaus leicht möglich ist. Der von Agricola abgebildete Ventilator hat sich deshalb auch nicht behauptet, während der Papinische in seiner ursprünglichen Form als Kornreinigungsmaschine bald eine der volkstümlichsten Apparate wurde, den jedermann gebrauchte und von dem niemand sagen konnte, woher er stammte. Er selbst benutzte ihn, um Wind für seine neuen und für die älteren Öfenkonstruktionen zu geben, er benutzte ihn namentlich bei seinen merkwürdigen Versuchen mit dem Taucherschiff, die nicht sobald vergessen worden wären, wenn sie Papin an einem wasserreicheren Orte, als in dem nur die Fulda bietenden Kassel hätte anstellen können.

Schon im Anfange des 17. Jahrhunderts hatte man sich mit dem Problem der Taucherglocke eingehend beschäftigt. Schwenter bildet bereits eine ab und der Versuch Drebbels (1572—1634), der in einem Taucherschiff unter dem Wasserspiegel der Themse gefahren sein sollte, hatte nicht nur das größte Interesse erregt, er hatte auch zu den erstaunlichsten Gerüchten Veranlassung gegeben, die indessen auch bei so vorurteilsfreien Männern wie Boyle, Huygens und Leibniz Glauben fanden. Dieser Umstand giebt diesen Unmögliches behauptenden Übertreibungen auch jetzt noch ein Interesse, das sie sonst gänzlich entbehren würden. So schreibt Huygens an Papin, dass sein, des Schreibers, Vater zu der Zeit, in der Drebbel seine Versuche angestellt habe, in London gewesen sei und ihm erzählt habe[2]), dass Drebbel »im Schiffe eingeschlossen, sich in die Themse versenkte, ohne dass etwas über dem Wasser sichtbar blieb, von wo er nach einer ziemlich langen Zeit und an einem vom Ort seines Verschwindens weit entfernten Stelle wieder zum Vorschein kam. Man sagte, dass er ein Mittel zur Erneuerung der Luft in seinem Schiffe habe, was eine überaus

1) Th. Beck, Historische Notizen VII. Civilingenieur 1888. Bd. 34. Neue Folge.

ief von Huygens an Papin vom 2. Nov. 1691. S. Gerland, Briefwechsel etc.

wichtige Erfindung sein würde.« Boyle[1]) teilt gar mit, dass »das Schiff zwölf Ruderer außer den Mitfahrenden trug, von denen einer bis zum heutigen Tage überlebend, die Sache einem Mathematiker von gutem Namen erzählte, von welchem ich sie selbst erfahren habe. Was ich deshalb erzähle«, fährt er fort, »weil ich, da mir weder Wissbegierde noch Gelegenheit fehlte, unter den Verwandten Drebbels, besonders von dem tüchtigen Arzte[2]), der seine Tochter geheiratet hatte, die Ursachen zu erforschen, die es möglich machten, dass Menschen, die es nicht gewöhnt waren, so lange unter Wasser zuzubringen, nicht erstickten und (wie der Teilnehmer nur nach seiner Erinnerung behauptete) ohne jeden Schaden aushielten«. Er erhielt die Antwort, »Drebbel habe geglaubt, dass dies nicht der ganze Körper der Luft, sondern eine gewisse Quintessenz (wie die Chemiker sagen) oder ihr geistiger Teil bewirke, dass sie zur Atmung diene, nach deren Verbrauch der dickere Körper, oder Kadaver (Verzeihung dem Worte) der Luft, die die im Herzen vorhandene Lebensflamme nicht ernähren könne«. An diese Quintessenz glaubte auch Leibniz[3]), er meinte, sie könnte Weingeist gewesen sein, den Drebbel habe verbrennen lassen, da es keine Flüssigkeit gebe, die sich mehr der Natur der Luft nähere und dass vielleicht dessen Dampf der Luft ihre durch Atmung erteilte Verderbnis verbessert habe. Seitdem blieb die Frage auf der Tagesordnung und die Royal Society setzte am 10. Februar 1664 eine Kommission ein, welche nach dem Mittel suchen sollte, das längere Zeit unter dem Wasser leben zu können ermöglichte[4]).

Es wird Papin zu immerwährendem Ruhme gereichen, dass er sich mit dem Suchen nach dieser Quintessenz, die viel Anklänge an den Stein der Weisen hatte, nicht wie viele seiner Zeitgenossen aufhielt, sondern sich von vornherein nur an das Mittel wandte, das auch jetzt noch allein zum Ziele führt, an fortwährende Zufuhr frischer Luft. Zwei Taucherschiffe hat Papin hergestellt, mit dem ersten konnte er keine Versuche ins Werk setzen, da durch die Unachtsamkeit des Zimmermanns der Krahn brach, der es in den Fluss hinablassen sollte und das Schiff in Stücken ging. Das Schiff, mit dem er seine Versuche ausführte, zeigt die Fig. 216, welche einem Brief Papins an Huygens vom 16. August 1691 entnommen ist[5]). Es war aus Holz »wie ein Breufass, ovalmäßig angeordnet« und besaß eine Höhe von $6\frac{1}{2}$ Fuß bei 3 Fuß Tiefe und 5 Fuß Breite, so dass es außer den nötigen Hilfsapparaten drei Menschen fassen konnte. Aus zwei seitlichen (nicht gezeichneten) Öffnungen konnten Ruder herausgesteckt und mit Leder gedichtet werden. Die Lufterneuerung besorgte

---

1) Boyle, Nova experimenta physico-mechanica de vi Aeris elastica. Ed. patroma. Roterodami 1669. T. I. S. 321.

2) s. S. 115 Anm. 2.

3) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 204.

4) Huygens, Oeuvres complètes. V. S. 81.

5) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 62.

der Centrifugalventilator *B*, der durch das Rohr *C* Luft ansaugte, durch ein zweites die verbrauchte Luft wieder zur Oberfläche des Wassers beförderte. Die Enden beider Röhren waren in Korkstücken befestigt, welche auf dem Wasser schwammen.

DD ist das Mannloch, durch welche die Bemannung in das Schiff stieg. Die Tiefe, in der es sich zu irgend einer Zeit befand, bestimmte das Manometer *O*, welches auf beiden Seiten offen war und soviel Quecksilber enthielt, als für die größten vom Schiffe zu erreichenden Tiefen für nötig erachtet wurde. Sollte das Schiff sich senken, so wurde in ein in seinem Inneren befindliches Gefäß Wasser mittels eines Hahnes eingelassen, sollte es wieder steigen, so warf eine Pumpe das Wasser wieder heraus und ersetzte es durch Luft. Der merkwürdigste Teil des Schiffes ist das kupferne Rohr *EE*, das wasserdicht in die Maschine eingefügt wurde. Es war so weit, dass sich ein Mann hineinbegeben konnte; war das geschehen, so wurde es gegen das Schiff durch eine angeschraubte Platte abgeschlossen. Wurde nun die Kompressionspumpe *F* in Thätigkeit gesetzt, so konnte der in *E* Eingeschlossene die Klappe *G* öffnen und herausgreifend im Wasser arbeiten, sei es zerstörend an einem feindlichen Schiffe, sei es Gegenstände am Boden des Gewässers bergend.

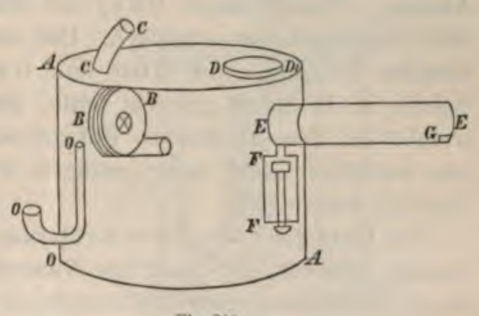


Fig. 216.

So finden wir hier eine Menge Ideen bereits ausgesprochen, auf welchen in unserer Zeit die pneumatische Gründungsmethode, die Arbeiten der Taucher am Meeresgrund u. s. w. beruhen. Und nicht nur ausgesprochen wurden sie, sie wurden auch ausgeführt. Durch das Missglücken des ersten Versuches hatte sich der kühne Forscher durchaus nicht abschrecken lassen, er baute das zweite Schiff, an dem er einige nicht unbedeutende Veränderungen anbrachte, und ließ sich im Mai 1692 mit einem Gehilfen in seinem Schiffe mehrmals unter den Spiegel der Fulda herab, wobei er ein angezündetes Licht noch brennend wieder mit heraufbrachte. Dieser Versuch wurde im Gegensatz zu dem ersten, bei dem eine schaulustige Menge sich getäuscht sah, in der Stille ausgeführt. Bedauerlicherweise hat sich deshalb die Überlieferung erhalten, Papins Versuch mit dem Taucherschiff sei missglückt. Wie wenig übrigens die damalige Zeit in der Lage war, Papins Projekt und Experiment richtig zu würdigen beweist der Vorschlag, den 1683 Alphonsus Borellus[1]) für ein Taucher-

[1]) ·ta Eruditorum 1683. S. 73.

schiff machte, den freilich Jacob Bernoulli I.[1] als völlig untauglich verwarf.

Als Papin nach Beendigung seines Versuches die komprimierte Luft aus seinem Schiff entweichen ließ, sah er sich plötzlich in einen dichten Nebel gehüllt. Er konnte sich diese Erscheinung ganz und gar nicht erklären, denn davon, dass die sich ausdehnende Luft abkühlt und dann der in ihr enthaltene Wasserdampf sich niederschlägt, hatte man ja noch keine Ahnung. Papin fragte Huygens um seine Meinung, aber auch dieser blieb die Erklärung schuldig[2]. Das einzige was er zu sagen wusste, war dieselbe Annahme, die Otto von Guericke über die Entstehung von Nebeln im Rezipient gemacht hatte, der Nebel bestehe aus Wasserteilchen, welche bei dem zu raschen Entweichen der Luftteilchen aus der Öffnung von denselben nicht mehr getragen würden und herabsinkend sich miteinander vereinigten.

Das Unzureichende dieser Erklärung beweist wiederum, wie wenig man damals noch von der Natur des Wasserdampfes wusste. Auf diesem Gebiet einen ungeheueren Schritt vorwärts zu thun, war der letzten Gruppe der experimentellen Arbeiten Papins vorbehalten, die mit der Erfindung der Dampfmaschine endigte. Wir haben nun diese noch unseren Lesern vorzuführen.

9. Huygens' Pulvermaschine. Papins Erfindung der Niederdruckdampfmaschine.

Wohl der einzige Apparat, von dem man nie vergessen hat, dass er von Papin erfunden worden ist, ist der Dampfkochtopf oder Digestor, meist kurzweg der Papinische Topf genannt. Die Beschreibung der bereits 1681 gemachten Erfindung bildet den Inhalt einer der Royal Society gewidmeten kleinen Schrift, aus der ein Auszug in die Acta Eruditorum von 1682[3]) aufgenommen worden ist. Aus ihnen stammt die den Topf darstellende Fig. 217. Noch bis in unser Jahrhundert hinein versprach man sich viel von ihm, indem man hoffte, mit seiner Hilfe die des Fleisches entkleideten Knochen als Nahrungsmittel verwenden zu können. Anfänglich hatte Papin diesen Gedanken auch gehabt. Er kam aber davon zurück, als er sich überzeugte, dass es nur Leim sei, den man durch Kochen bei hohem Drucke aus den von Fleisch befreiten Knochen erhalten könne. Doch benutzte er den Apparat zum Einkochen von Konserven, für welchen Zweck er auch die Nützlichkeit des Schwefelns erkannt hatte. Es ist bekannt, dass der Dampfkochtopf erst in neuerer Zeit mehr und mehr in unsere Küchen Eingang gefunden hat, unter Beibehaltung der Einrichtung,

1) Acta Eruditorum 1683. S. 553.
2) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 65 und 183.
3) Acta Eruditorum 1682. S. 105; 1687. S. 276.

welche ihm Papin bereits gegeben hatte. Der Deckel wird durch Schrauben, deren Muttern in Bügeln sich befinden, welche am Topfe befestigt sind, aufgepresst. Um der Gefahr einer Explosion vorzubeugen, brachte Papin an ihm zum ersten Male das Sicherheitsventil an.

Bei dem Versuche, die Temperatur, die in seinem Apparate herrschte, zu bestimmen, ließen ihn die Thermometer seiner Zeit im Stiche. Über den Siedepunkt hinausgehende Temperaturen konnte man mit ihnen nicht bestimmen. Er brachte deshalb einen Tropfen Wasser auf den Deckel und beobachtete die Zeit, die dieser brauchte, um zu verdunsten, eine Methode, die wenigstens die Mittel einer qualitativen Vergleichung an die Hand gab. Genauere Resultate dürfte das 1701 von Newton[1]) bei seinen Versuchen zur Prüfung des von ihm aufgestellten Gesetzes des Erkaltens auch nicht ergeben haben. Um die Erkaltungszeiten von erhitztem Eisen zu bestimmen, brachte er Legierungen von verschieden hohen Schmelzpunkten darauf und beobachtete die Zeiten, in denen sie nacheinander erstarrten. Abgesehen von der Schwierigkeit, die es immer hat, den Augenblick der Erstarrung festzustellen, so fehlte es auch noch an den Kenntnissen der Erstarrungstemperaturen.

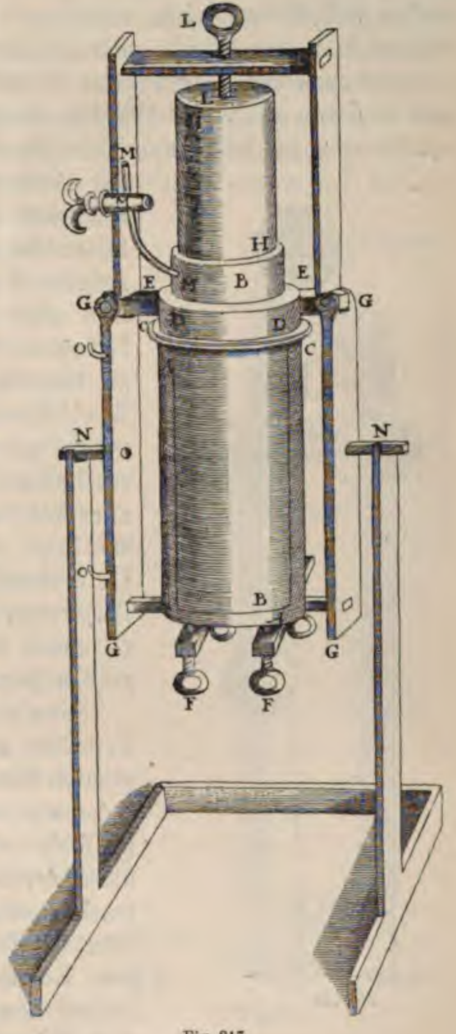


Fig. 217.

Ob Papin die Beobachtungen am Digestor zuerst auf die Idee der Spannkraft der Dämpfe gebracht haben, wissen wir nicht. Zuerst ausgesprochen hat er sie im Jahre 1685. Er war damals Kurator der Versuche, welche der Royal Society bei ihren regelmäßigen Sitzungen vorgeführt wurden und stellte bei einer solchen Gelegenheit ein Experiment an, das später in einer etwas anderen Form Benjamin Franklin großen Ruhm eingebracht hat. Er

1) Newton, Philosophical Transactions. 1701. No. 270.

füllte in eine Flasche etwas Wasser und Alkohol, pumpte den Raum über der eingefüllten Flüssigkeit mit der Luftpumpe so viel wie möglich aus und verschloss darauf die Flasche luftdicht. Erwärmte er sie alsdann und schüttelte sie, so geriet die Flüssigkeit in heftiges Sieden; dasselbe aber zeigte sich auch, wenn er die Flasche in eiskaltes Wasser stellte. »Ich glaube«, sagt er darüber[1]), »dass die durch die Erwärmung entwickelten Dämpfe in einem leer gepumpten Glase einen Druck ausüben, welcher sofort aufgehoben wird, sobald wir diese Dämpfe durch Einsetzen des Glases in kaltes Wasser oder Eis niederschlagen«.

Diesen Versuch und seine Deutung mochte Papin vor Augen haben, als er daran ging, eine Maschine herzustellen, welche eine geeignete Kraftquelle zum Betriebe seiner Centrifugalpumpe abgeben könnte. Er war bei der Anlage eines künstlichen Teiches in der Karlsaue bei Kassel im Inundationsgebiet der Fulda Augenzeuge gewesen, welche Mühe die Arbeiter mit dem Auspumpen gehabt hatten, trotzdem aber nicht im stande gewesen waren, das fortwährend aus dem Boden zuströmende Wasser zu bewältigen. Er war keinen Augenblick im Zweifel, wieviel wirksamer hier die Centrifugalpumpe gewesen wäre, wenn man sie in genügend rasche Umdrehung hätte versetzen können. Dazu aber reichte Menschenkraft nicht aus, und so suchte er sie durch Maschinenkraft zu ersetzen. Da erinnerte er sich der Pulvermaschine von Huygens, welche er 1674 in dessem Auftrage zu einem ähnlichen Zwecke hergestellt und im großen geprüft hatte.

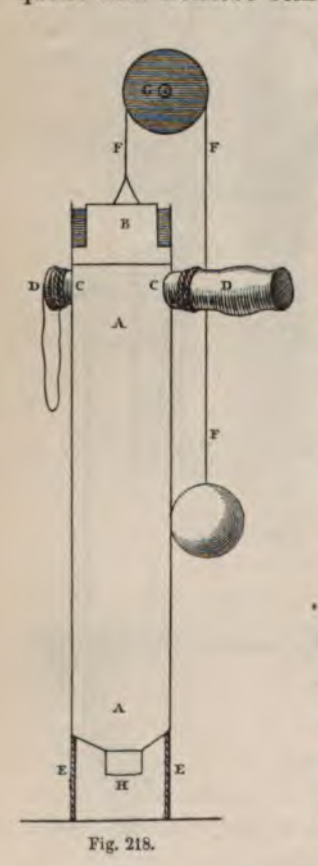


Fig. 218.

Damals ließ Ludwig XIV. die Gärten in Versailles anlegen und man musste, um die geplanten Wasserkünste zu speisen, die Wasser der Seine auf eine nicht unbeträchtliche Höhe heben. Es fehlte nicht an Vorschlägen, die zur Lösung dieser Aufgabe gemacht wurden. Den originellsten machte Huygens, dessen Plan Fig. 218 vorführt[2]). Ein eiserner Cylinder AA wurde durch den Kolben B luftdicht abgeschlossen. Am Boden des Cylinders befand sich eine durch eine Schraube verschließbare Öffnung H. Auf die obere Fläche der Schraube wurde etwas Schießpulver mit einem Stückchen glimmender Lunte gelegt, welches so lang sein musste, d

1) Birch, The history of the Royal Society of London. L

2) Hugenii, Opera varia. Vol. I. S. 280.

der Experimentator Zeit hatte, die Schraube wieder an ihren Ort zu bringen, ehe das Pulver entzündet wurde. Die sich dadurch entwickelnden Pulvergase trieben dann den Kolben so weit empor, dass sie durch die Röhren CC entweichen konnten, indem sie die über die Röhren gezogenen und an ihnen fest gebundenen Lederärmel D in der Weise, wie es die rechte Seite der Figur zeigt, aufrichteten. Dabei kühlten sie sich aber rasch ab und der auf den Kolben wirkende Luftdruck trieb diesen wieder in den Cylinder herab, indem nun, wie links zu sehen, die Lederärmel schlaff herabfielen und der Luft den Zutritt zum Cylinder verwehrten. In den so von ihm abgeschlossenen, mit verdünnter Luft gefüllten Cylinder presste der Luftdruck den Kolben hinein und hob dabei das Gewicht, welches an dem über die Rolle G gehenden, mit dem anderen Ende am Kolben befestigten Tau FFF hing. Anstatt des Gewichtes sollten bei der Anwendung zum Pumpen mit Wasser gefüllte Kübel genommen werden. Papin hatte damals vor Ludwigs Minister, Necker, den Versuch angestellt, der Erfolg hatte seinen Erwartungen entsprochen.

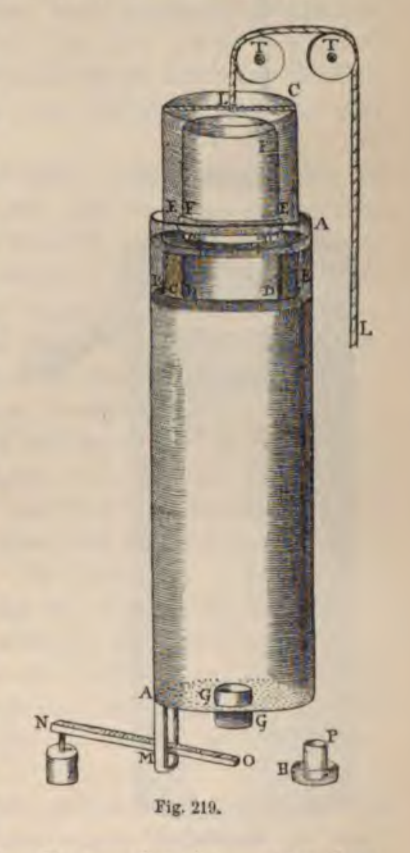


Fig. 219.

Indessen hatte Huygens selbst als Fehler der Maschine bereits erkannt, dass die im Cylinder zurückbleibende Luft, wie er die Pulvergase nennt, die Größe ihrer Wirkung sehr beeinträchtigt, und auf die Notwendigkeit hingewiesen, das beste Verhältnis zwischen Höhe und Durchmesser des Cylinders, sowie die kleinste, noch ausreichende Pulvermenge zu bestimmen. Papin aber hatte die Art der Speisung als sehr unbequem und gefährlich gefunden. Als dann 1687 ein von der Maschine handelnder anonymer Artikel in den Nouvelles de la République des lettres den Landgrafen Karl von Hessen, in dessen Diensten damals Papin war, auf die Maschine aufmerksam gemacht und in ihm den Wunsch erregt hatte, sie auf ihre Brauchbarkeit zu prüfen, so gab er ihr die in Fig. 219 gezeichnete Form [1]). Anstatt der Schraube nahm er ein abgeändertes Sicherheitsventil. Der zweiarmige, unter dem nder angebrachte, durch ein Gewicht bei N beschwerte Hebel NMO

ta Eruditorum. Sept. 1688. S. 497. Nouvelles de la République 8. S. 982.

drückte einen oben ausgehöhlten Stöpsel *HP* mit hohlem Rande in die Öffnung *GG* am Boden des Cylinders, die einen hervortretenden Rand besaß. So konnte der Stöpsel leicht herausgenommen und, mit frischer Ladung versehen, rasch wieder an seinen Platz gebracht werden. Das Ventil zum Auslassen der Pulvergase aber war auf dem Kolben *BB* angebracht; es hatte die Form eines Cylinders *FF* mit hervortretendem, kegelförmig abgeschliffenen Rande *EE*.

Wie wenig man damals die von Huygens und dann namentlich die von Papin erfasste und verfolgte Idee, die Menschenkraft durch einen der anorganischen Natur entnommenen Motor zu ersetzen, verstand, beweist der Vorschlag, der wohl vom Herausgeber der Acta Eruditorum der Mitteilung des Papinischen Planes zugefügt wurde, das Pulver wegzulassen und statt dessen den Cylinder durch Verbindung der Öffnung in seinem Boden mit einer Luftpumpe luftleer zu machen. Dieser Anhang zu seiner Arbeit mag es wohl gewesen sein, der Papin zur Veröffentlichung der in Fig. 203 abgebildeten Presse bewog, bei welcher jener Vorschlag bereits verwirklicht worden war. Ihn für die Pulvermaschine zu verwenden, kam ihm natürlich nicht in den Sinn.

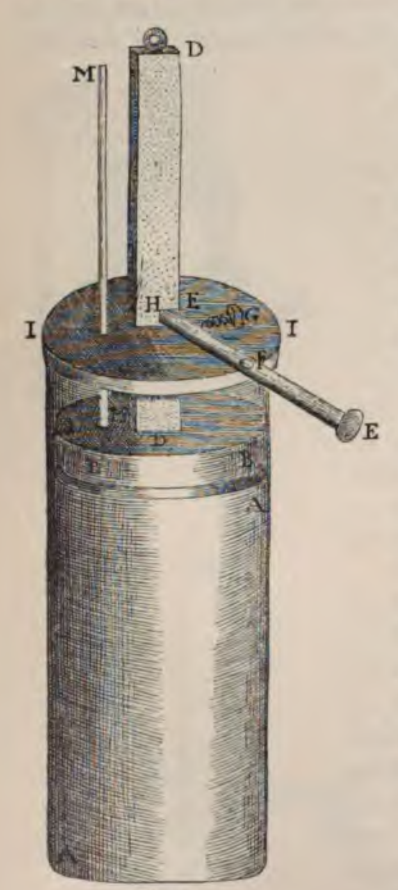


Fig. 220.

Für diese hatte er andere Pläne, die er im Jahre 1690 bekannt machte[1]). Sie sollten mit einem Male die von Huygens und ihm selbst gerügten Missstände der Pulvermaschine, die im Cylinder nach der Verbrennung des Pulvers bleibende Gasmenge und die Unbequemlichkeit und Gefahr bei der Bedienung beseitigen. So einfach der zur Ausführung gebrachte Gedanke war, von so großer Tragweite bewies er sich, kam er doch auf nichts geringeres heraus, als auf die Erfindung der Dampfmaschine!

Den Entwurf, der der Ausgangspunkt einer neuen Kulturstufe der Menschheit werden sollte, giebt Fig. 220. Er ist nichts anderes wie die Pulvermaschine, bei der nur das Pulver durch eine auf den Boden des (hte geringe Menge Wassers ersetzt ist. Das aber gab

1) Papin, Acta Eruditorum 1690. S. 410.

teil, dass nun die Öffnung im Boden und das Ventil im Kolben fortfallen konnten. *AA* ist der eiserne Cylinder, *BB* der Kolben, dessen Stange durch den Cylinderdeckel *II* hindurchgeht und bei *H* eine Nut zur Aufnahme des einen Endes des um *F* drehbaren Hebels *EE* hat, den die Feder *G* fortwährend in die Nut hereindrückt. War aber etwas Wasser in den Cylinder gebracht und dann der Kolben eingesetzt, so konnte er nicht weit genug heruntergedrückt werden, wenn es nicht möglich war, der unter ihm befindlichen Luft Austritt zu verschaffen. Zu diesem Zwecke war der Kolben seitlich bei *M* durchbohrt. War er so weit herabgedrückt, dass seine untere Fläche mit dem Wasser in Berührung gekommen war, so wurde die Öffnung durch die im Deckel ebenfalls ihre Leitung findende eiserne Rute *MM* verschlossen und die Maschine war nun zum Gebrauche bereit. Sie wurde auf ein Kohlenfeuer gesetzt und dort so lange gelassen, bis der sich entwickelnde Dampf den Kolben hoch genug gehoben hatte; dann musste sie wieder abgekühlt werden. In den durch den dabei niedergeschlagenen Dampf leer zurückbleibenden Raum unter dem Kolben trieb der Luftdruck den Kolben herab; die erste Dampfmaschine war also eine atmosphärische.

Die Erwärmung mit nachfolgender Abkühlung nahm längere Zeit in Anspruch. Papin erkannte aber sehr wohl, dass es eine Lebensfrage für die Einführung seiner Maschine in die Technik sei, diese abzukürzen. Die erste Hälfte dieser Aufgabe suchte er dadurch zu lösen, dass er das Feuer mittels seines Ventilators so viel wie möglich anfachte, die zweite, dass er den Cylinder nach erfolgter Hebung des Kolbens vom Feuer nahm. Zu verhüten, dass der Kolben alsdann nicht sogleich wieder herunterging, diese Bewegung vielmehr erst dann eintrat, wenn er zugleich Arbeit verrichten konnte, war die Bestimmung des Hebels *EE* und der Nut *H* in der Kolbenstange. War der Kolben so hoch gegangen, dass *H* über den Deckel heraus trat, so schnappte der Hebel ein und hielt den Kolben so lange gehoben, bis durch einen Schlag mit der Hand auf das äußere Ende von *E* die Kolbenstange freigegeben wurde. Es blieb also Zeit, den Cylinder so an ein Getriebe zu setzen, dass die Zähne, mit denen die Kolbenstange versehen war, in die des Getriebes eingriffen; sie drehten mit genügender Geschwindigkeit die Welle des Getriebes und verrichteten so eine Arbeit. Sollte dies dauernd geschehen, so mussten gleichzeitig eine Anzahl Cylinder im Betriebe sein, die abwechselnd auf das Feuer kamen.

Wie Papin bei allen seinen Arbeiten mit großer Sorgfalt und Umsicht alle Folgerungen zog und alle Einzelnheiten seines Verfahrens zu möglichst großer Vollkommenheit auszubilden strebte, so sehen wir ihn nun sein Erfindungstalent auch zur Verbesserung der damals üblichen Öfenkonstruk- entfalten. Er ordnete die Züge, in denen die Verbrennungsgase in geführt werden, übereinander in entgegengesetzter Richtung le so der Urheber der noch jetzt zur Erzeugung hoher Hitze-

grade verwendeten Öfen. Darauf näher einzugehen, liegt aber außerhalb des Rahmens unserer Darstellung[1].

Nichts ist geeigneter, uns ein Bild des Zustandes der experimentellen Wissenschaft am Ende des auf Galilei folgenden Jahrhunderts zu geben, als die Erfindungsgeschichte der Dampfmaschine. Die Folgerichtigkeit, die Umsicht, mit der Papin vorgeht, lässt nichts zu wünschen übrig. Dazu ist er sich der Tragweite seiner neuen Maschine wohl bewusst, sie soll das Wasser in den Bergwerken wältigen, sie soll Geschosse schleudern, Schiffe treiben und sie von der Notwendigkeit der Verwendung von Galeerensträflingen befreien, Wagen bewegen u. s. w. Das ist alles in der Idee fertig, und so wohl durchdacht, dass wir solcher Geistesarbeit auch jetzt noch unsere Bewunderung nicht versagen können. Die ausgeführte Maschine auf der anderen Seite ist so überaus ungeschickt, dass sie uns fast ein Lächeln abnötigt. Die Fortschritte der Technik hatten mit denen der reinen Wissenschaft nicht Schritt halten können, und wenn diesem Mangel hinsichtlich der physikalischen Apparate bald genug abgeholfen wurde, so bedurfte die Entwickelung des Maschinenbaues nicht weniger wie ein Jahrhundert, ehe seine Erzeugnisse das leisten konnten, was Papin bereits so deutlich vor sich sah.

10. Papins und Leibnizens Ansichten vom Wasserdampf. Saverys Maschine. Die Hochdruckmaschine Papins.

Ein wesentliches Hindernis für die Weiterbildung seiner Idee fand Papin in den geringen Kenntnissen, die seine Zeit vom Wasserdampfe hatte. Wir haben gesehen, dass ihn die Mitglieder der Accademia del Cimento, dass ihn noch Huygens für Luft hielt. Diese Ansicht, welcher man noch weit in das achtzehnte Jahrhundert hinein begegnet, verwarf Homberg (1652—1715) bereits im Jahre 1693. Er hatte ein zum Teil mit Wasser gefülltes weites Rohr, in welches ein engeres längeres, unter dem Wasser mündendes luftdicht eingesetzt war, luftleer gepumpt, dabei aber beobachtet, dass in dem engen Rohre eine Luftblase auftrat und sogleich durch eine andere ersetzt wurde, so oft sie auch durch Umkehren des Apparates entfernt worden war. Schien dem Pariser Akademiker dies schon dafür zu sprechen, dass keine Luft mehr in dem Wasser vorhanden wäre, so glaubte er es noch mehr aus dem Geräusche schließen zu müssen, welches das Schütteln der Röhre begleitete. »Diese Bewegung«, sagt[2] er, »hat an mehreren Stellen das zusammenhängende Wasser in dem (weiten) Gefäße getrennt und das Wasser verursacht, wenn es sich wieder vereinigt, ein Geräusch, wie das zweier großer Schlüssel, welche man

1) Vgl. hierüber Gerland, Glasers Annalen 1884. November. S. 162.

2) Homberg, Mémoires de l'Académie Royale des Sciences X. 1666—1699 S. 280. 1693.

gegen einander schlagen lässt«. Die aus diesem Versuche gezogenen Schlüsse erwiesen sich freilich hinfällig. Einen Fortschritt stellten die Untersuchungen Mariottes[1]) dar, als dieser Forscher, da er beobachtet hatte, dass das Wasser auch nach dem Entweichen der in ihm enthalten gewesenen Luft zu sieden nicht aufhörte, neben einer »matière aërienne« auch eine im Wasser vorhandene »matière fulminante« annahm. Beide treten also noch als vom Wasser verschiedene Stoffe auf, während Leibniz zwischen Stößen, welche die Flüssigkeitsteilchen auf die Gefäßwände ausüben und einem gleichmäßigen, gegen sie wirkenden Drucke, einer elastischen Kraft, einem »Ressort«, also doch wohl eine Spannkraft, unterscheidet, ohne sich darüber auszusprechen, wer der Träger dieser Spannkraft sei[2]).

An derartigen Spekulationen hat sich Papin nicht beteiligt, er arbeitete vielmehr an der Verbesserung seiner Maschine unermüdlich fort, leider unter Verhältnissen, die ihm dies nicht leicht machten. Er hatte in den neunziger Jahren des siebzehnten Jahrhunderts bereits die Spannkraft des Wasserdampfes als bewegende Kraft benutzt, also die Hochdruckmaschine konstruiert. Wie diese ersten Entwürfe einer solchen beschaffen waren, hat er uns freilich nicht überliefert. Wir wissen nur, dass er an der Fulda eine solche aufgestellt hatte, dass sie ihm aber ein unerwartet früh eintretender Eisgang zerstörte. Da sein Herr, der Landgraf, die Versuche stets selbst mitmachen wollte, die kriegerische Zeit ihn aber vielfach von seiner Hauptstadt fernhielt und sonst in Anspruch nahm, so rückte sein Rath nur langsam vorwärts, und es ist die Frage, ob er zum Bau einer weiteren Maschine gekommen wäre, wenn nicht 1704 Leibniz ihm eine Zeichnung der Saveryschen Maschine, die er von London bekommen hatte, zugeschickt hätte. Obgleich eine Beschreibung der Zeichnung nicht beigefügt war, so übersah Papin die Einrichtung der dargestellten Maschine sogleich und fand in ihr einen Plan wieder, auf den ihn seine Arbeiten ebenfalls geführt hatten, den er aber seiner Fehler wegen wieder verworfen hatte. Er legte dem Landgrafen die Zeichnung vor und erhielt nun zu seiner großen Freude den Auftrag, eine Dampfmaschine zu bauen, an welcher alle von ihm ausgearbeiteten Verbesserungen angebracht werden sollten.

Ehe wir uns zu ihrer Betrachtung wenden, schildern wir zunächst die Leistungen Saverys, der lange genug als Erfinder der Dampfmaschine in ganz unrechtmäßiger Weise angesehen worden ist. Nach Desaguliers[3]) wäre es freilich nicht Savery, sondern der Marquis of Worcester, dem die Erfindung gehöre. Der letztere habe bereits 1663 ein Buch unter dem Titel: A century of invention erscheinen lassen, in dem die Dampf-

1) Histoire de l'Académie Royale des Sciences I. Paris 1733. S. 273.
2) Brief vom Mai 1704 an Papin. S. Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 306.
[3)] Desaguiliers, A cours of experimental philosophy. London 1725. Holländische Übersetzung. Amsterdam 1751. III. S. 80.

maschine beschrieben sei. Diese habe Savery ausgeführt, dann aber sämtliche Exemplare von Worcesters Schrift aufgekauft, damit niemand hinter den wahren Sachverhalt komme. Die Geschichte ist trotz Poggendorffs[1] gegenteiliger Ansicht schon deshalb unmöglich, weil des

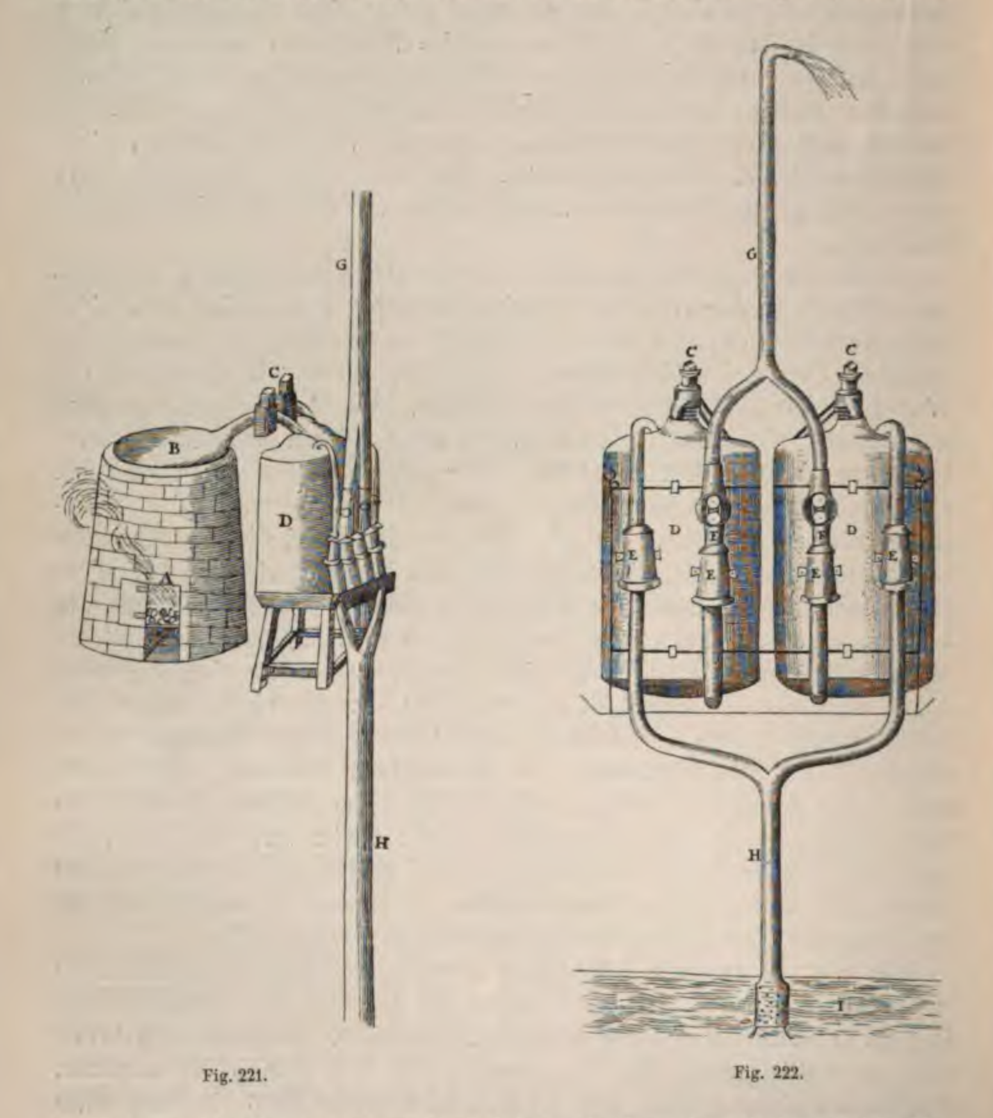


Fig. 221. Fig. 222.

Marquis Beschreibung viel zu dunkel ist, als dass danach hätte eine Maschine gebaut werden können. Savery selbst erzählt die Art, wie er zu der Konstruktion seiner Maschine gekommen sei, wesentlich anders. Er habe zufällig gesehen, dass eine auf den warmen Ofen gelegte geleerte

1) Poggendorff, Geschichte der Physik. S. 534.

Weinflasche sich mit Dampf gefüllt habe. Als er dann die Flasche mit dem Halse nach unten in Wasser getaucht habe, so sei dies mit großer Heftigkeit hinein gestiegen. Die Maschine, die er von dieser Beobachtung ausgehend, konstruierte, zeigt Fig. 221 in der Ansicht, die Fig. 222 giebt die beiden Cylinder *D* noch einmal von vorn in etwas größerem Maßstabe.

Sie unterscheidet sich von der ersten Papinischen auf den ersten Blick dadurch, dass bei ihr der Kessel *B* von den Cylindern *DD* getrennt ist. Verbunden ist jeder Cylinder mit dem Kessel durch ein mittels eines der Hähne *C* abzuschließendes Rohr. In den oberen Teil der Cylinder münden die Zweige des Saugrohres *H*, aus ihrem unteren Teile gehen die Rohre *F* heraus, welche sich zu dem Steigrohre *G* vereinigen. Wird nun einer der Cylinder mit dem Kessel in Verbindung gesetzt, der andere von ihm abgeschlossen, so drängt in jenem der Kesseldampf das Wasser in das Steigrohr, während in dem anderen durch den niedergeschlagenen Dampf ein luftverdünnter Raum entsteht, in den der Luftdruck das Wasser durch *H* hineinpresst. Um dieses Spiel der Maschine zu ermöglichen, befinden sich in allen vier Röhren bei *E* Ventile, welche sich nach oben öffnen.

So schön die Maschine nun auch ausgedacht war, sie wirkte nicht, erst als Savery, wie später Desaguiliers und 's Gravesande, einen Cylinder wegließ, kam eine mäßige Wirkung zu stande. Den Grund dieses Misserfolges hat Papin gelegentlich der Vergleichung seiner und der Saveryschen Maschine klar angegeben. Um sie richtig würdigen zu können, müssen wir zunächst die Hochdruckmaschine Papins beschreiben. Wir entnehmen diese Beschreibung seiner Schrift: »Neue Kunst, das Wasser mit Hilfe des Feuers in erfolgreichster Weise zu heben« (Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam)[1], die er 1707 in Druck gab. Ihr ist Fig. 223, S. 234, entnommen, welche das Bild der Maschine vorführt.

AA ist eine kupferne, durch das Sicherheitsventil *C* verschließbare Retorte von 20 Zoll Durchmesser und 26 Zoll Höhe. Sie befindet sich in einem Ofen und in ihr wird das Wasser verdampft. Durch das den Durchlasshahn *E* und den Ablasshahn *R* besitzende Rohr *BB* gelangt bei geöffnetem Hahn *E* der Dampf aus der Retorte (dem Kessel) in den Cylinder *D*, der eine verhältnismäßig große, gleichfalls durch ein Sicherheitsventil zu verschließende Öffnung besitzt. An ihn schließt sich das Rohr *HH* an, welches sich nach oben krümmend in senkrechter Richtung als *MM* fort-

1) Hinsichtlich derselben sei eine fehlerhafte Vermutung in Gerland, Briefwechsel u. s. w., richtig gestellt. Es war dort bezweifelt worden, dass die Ars nova, 'hre Anzeige in den Nouvelles de la République des Lettres XLVII. 1707. S. 191, ·h in französischer Sprache erschienen sei. Das ist nun in der That der Fall, d in der französischen die 15 Demonstrationen der lateinischen Ausgabe und ist das Postscriptum verkürzt.

setzt und bei Y einen Ablasshahn besitzt. Das obere Ende von M mündet in den weiten allseitig geschlossenen Cylinder NN, aus dessen Boden das durch Hahn verschließbare sich nach oben wendende Rohr X austritt. In H mündet sodann das sich trichterförmig erweiternde Rohr GG, welches bei S ein sich nach unten öffnendes Ventil einschließt, während T mit einem ebensolchen, sich nach oben öffnendem versehen ist. Endlich besitzt der Cylinder D noch das Rohr und den Hahn n. Im Cylinder D befindet sich der Schwimmer FF, in den der einfache Blechcylinder II eingesetzt ist. Durch L wird in diesen ein Stück in Glut versetztes Eisen gebracht, auf das nach Schließung von L bei Öffnung des Hahnes E der Dampf trifft

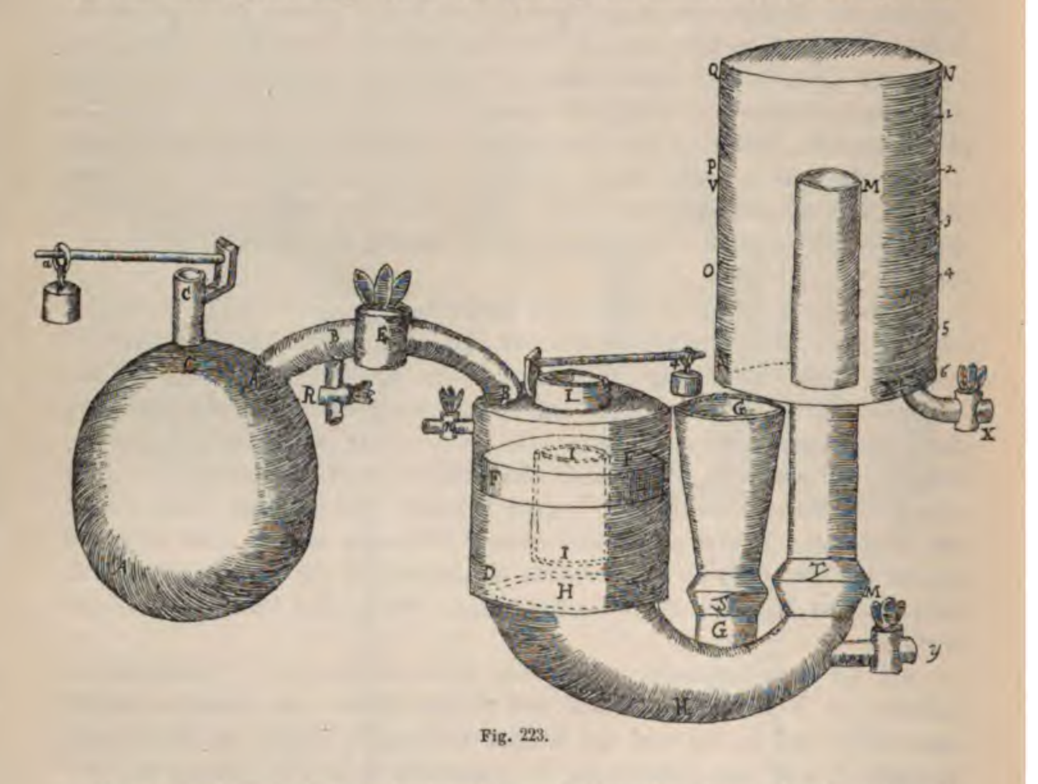


Fig. 223.

und expandierend den Schwimmer und das ihn tragende Wasser mit kräftigem Stoße vor sich hertreibt. Dies presst die Luft in NN zusammen, die dann sich langsam wieder ausdehnend das Wasser in X emportreibt. Nach Beendigung des Hubes des Schwimmerkolbens FF wird der Hahn n geöffnet, der Dampf entweicht und das den Trichter G anfüllende Wasser steigt nach D.

Zum Verständnis der Maschine muss man im Auge behalten, welche Aufgabe ihrem Erfinder der Landgraf Karl von Hessen gestellt hatte. Die Maschine sollte Wasser pumpen und das gehobene Wasser sollte auf ein Wasserrad aufgeschlagen werden, welches wiederum eine Kornmühle

treiben sollte. Für diese nach unseren Begriffen äußerst ungeschickte Aufgabenstellung ist Papin nicht verantwortlich; es erklären sich jedoch Einzelnheiten seiner Maschine daraus. Ob freilich Papin eine andere Fragestellung gewählt hätte, wenn er freie Hand hatte, steht dahin. Missbilligend hat er sich darüber Leibniz gegenüber jedenfalls nicht ausgesprochen.

Mit folgenden Worten vergleicht[1]) nun Papin seine Maschine mit der von Savery. »Damit man nicht irre in der Wahl zwischen Herrn Saverys und meiner Maschine, werde ich die Vorzüge der letzteren auseinandersetzen. Zuerst lässt sich die Retorte *AA* (Fig. 223), da sie sich ganz im Feuer befindet, rascher und mit weniger Kosten erwärmen, als die beiden Gefäße, welche Herr Savery Kessel nennt. Ich bemerke zweitens, dass die heißen Dämpfe, welche von da in die Pumpe treten, um das Wasser herauszutreiben, in der Maschine kaltem Wasser begegnen, welches sie niederschlägt und den größten Teil ihrer Kraft vernichtet. Besonders, wenn das Wasser sehr hoch gehoben werden muss, ist es unmöglich, dass die Dämpfe stark genug auf das kalte Wasser drücken, ohne niedergeschlagen zu werden und erst nachdem das Wasser erwärmt ist, kann man es auf 20—25 Fuß Höhe heben. Um das Wasser auf diese Art zu erwärmen, bedarf man sehr viel Dampf: es ist deshalb das Wasser in der Retorte oft zu erneuern und man braucht viel Zeit und Holz, um es wieder zu erwärmen. Aber mittels unseres Kolbens *FF* treffen die Dämpfe immer dieselbe Oberfläche des Metalls, welches bald so stark erwärmt wird, dass die Dämpfe nichts oder nur sehr wenig Kraft sich niederschlagend verlieren. — Ich mache drittens darauf aufmerksam, dass Herr Savery seine Pumpen durch Ansaugen füllen will, wenn die Dämpfe, welche das Wasser aus der Pumpe gedrängt haben und sich erkaltend niederschlagen einen luftleeren Raum zurücklassen, welcher sich mit Wasser füllen muss, das durch ein am Grunde der Pumpe angelötetes Rohr emporsteigt. Nun ist es richtig, dass im Anfang der Arbeit dies gelingt und eine ähnliche Anordnung haben wir früher auch getroffen: Aber wir haben uns längst überzeugt, dass im Verlaufe der Arbeit alle Teile sich so stark erwärmen, dass eine überaus lange Zeit nötig ist, um eine für das Ansaugen genügende Abkühlung zu erreichen. Es war deshalb notwendig zu unserem Gefäße *GG* unsere Zuflucht zu nehmen, welche das Wasser durch sein Gewicht aber nicht durch Ansaugung in die Pumpe *DD* treibt und damit die heißen Dämpfe, welche in der genannten Pumpe vorhanden sind, den Eintritt des Wassers nicht hindern, öffnet man den Hahn *n* und lässt die heißen Dämpfe so lange mit Ungestüm austreiben, bis man mit ihnen Wasser zum Vorschein kommen sieht: dann ist man sicher, dass die Pumpe voll ist, man schließt rasch den Hahn *n* und öffnet den Hahn *E* und so wiederholen sich auf das prompteste die Operationen, ohne dieses Mittel würde

1) Papin, Ars nova etc. Cassel 1707.

der Übelstand, von dem ich in diesem Abschnitte rede, hinreichen, um die ganze Maschine unwirksam zu machen. Viertens ist das rotglühende Eisen, welches durch die Öffnung *L* eingeführt wird, ebenfalls ein wichtiges Mittel zur Verbesserung dieser Maschine: Denn dadurch erhalten die Dämpfe, welche mit Ungestüm gegen das Eisen stoßen, eine noch größere und heftigere Ausdehnung, wie in der Retorte *AA*: und dadurch braucht man ein gut Teil weniger und sie üben doch eine kräftigere Wirkung aus, als wenn das glühende Eisen nicht da wäre. Fünftens werde ich, um unwiderleglich nachzuweisen, dass der Kolben *FF* notwendig ist, um das Wasser zu einer einigermaßen beträchtlichen Höhe zu heben, weil die Dämpfe sich niederschlagen, sobald sie mit einer Kraft auf das kalte Wasser treffen, welche man um das Wasser 25 Fuß hoch zu heben bedürfte, hier über einen Versuch berichten, den wir angestellt haben. Wenn nämlich unsere Maschine keinen Kolben hatte, sah man das Wasser in die freie Luft mit ziemlich guter Wirkung emporsteigen; wenn man aber den Behälter *NN* anwendete, um das nämliche Wasser in etwas zusammengedrückter Luft aufsteigen zu lassen, so hatte man ganz und gar keinen Erfolg: Statt dessen erreichte man mit dem Kolben immer eine gute Wirkung, obgleich der Widerstand der zusammengepressten Luft in *NN* zehn- oder zwölfmal so groß war, wie der, welcher ohne Kolben nicht überwunden werden konnte.«

Es erschien wünschenswert, diese Kritik, die Papin an Saverys Maschine geübt hat, indem er seine eigene rechtfertigt, im Wortlaute mitzuteilen, denn sie zeigt einen so wesentlichen Fortschritt von Papins Anschauungen gegen seine früheren, dass man mit Erstaunen fragt, wie er dieselben so rasch gewinnen konnte. Nicht nur zeigt er richtige Kenntnisse von der Spannkraft, auch die Benutzung der Expansion ist eine in hohem Grade bemerkenswerte. Nicht theoretische Betrachtungen sind es gewesen, die diesen ungeheueren Fortschritt bedingten, er kommt lediglich dem geschickt angestellten und dem vorurteilsfrei gedeuteten Versuche zu und es sind wenige Abschnitte in der Geschichte der Naturwissenschaften, welche dies so klar vor Augen führen, welche zeigen, wie ihr Fortschritt lediglich auf diese Weise zu erreichen war. Gerade diese Versuche aber lassen Papin als einen der größten Experimentatoren erscheinen, dessen Versuchs-Ergebnisse, die ihn zu neuen Anschauungen rasch emporhoben, von seiner Zeit freilich nicht verstanden werden konnten. Ist es dieser auch zu verzeihen, wenn sie ihn von abenteuerlichen Ideen beherrscht glaubte, so gereicht es unserer Zeit wahrlich nicht zur Ehre, dass sie dies Vorurteil immer noch nicht abgeworfen hat und immer noch die Möglichkeit festhält, dass e

leiten lassen.

Das wäre aber der Fall gewesen, wenr

wir schilderten so, wie sie waren, zu

verwenden wollen und das hätte er

recht hätte, die ihn 1707 auf einem Dampfschiffe von Kassel nach Münden fahren lässt, in einem Dampfschiffe, mit dem er auch von Bremen nach England gefahren wäre, wenn es ihm die Mündener Schiffer nicht zerstört hätten. Den Plan, ein Dampfschiff zu bauen, hatte allerdings Papin, er hatte auch mit den Vorarbeiten bereits begonnen in derselben logischen Denkweise langsam und konsequent fortschreitend, wie wir dies von seinen anderen Arbeiten kennen; gebaut hat er es nicht.

Nicht also das Dampfschiff, wohl aber die in Fig. 223 dargestellte Dampfmaschine wurde wirklich ausgeführt und im Juli oder August 1706 auf ihre Leistungsfähigkeit geprüft. Leider waren die einzelnen Stücke, aus denen das Steigrohr bestand, trotz des Experimentators Warnung so schlecht zusammengefügt, dass das Wasser bald aus allen Ritzen hervorquoll und der Landgraf, der ja den Versuch für sich anstellen ließ, nur auf inständiges Bitten Papins dessen Fortsetzung gestattete. Dabei stieg denn trotz der übergroßen Verluste das Wasser doch gegen 70 Fuß hoch und somit war die Richtigkeit von Papins Voraussetzungen glänzend bewiesen. Doch hatten diese Versuche ihn auch auf mehrere verbesserungsbedürftige Punkte aufmerksam gemacht. Es fehlte an einer Vorrichtung zum Speisen der Retorte. Um sie zu erhalten, gedachte Papin zwei Hähne übereinander anzubringen, deren oberer bei geschlossenem unteren das Einbringen von Wasser in ein zwischen ihnen befindliches Röhrenstück durch sein Öffnen erlaubte, dass dann der geöffnete untere bei geschlossenem oberen in die Retorte gelangen ließ, während Leibniz den dabei eintretenden Dampfverlust auf seinen kleinsten Wert durch Anwendung eines einzigen mit einer Nische versehenen Hahnes, der hin und her gedreht werden sollte, zu erreichen für möglich hielt.

Den aus n entweichenden heißen Dampf wollte Papin gegen die Retorte strömen und ihn zu ihrer Erhitzung beitragen lassen; auch hinsichtlich dieses Punktes machte Leibniz den sachgemäßeren Vorschlag ihn zur Erwärmung der Luft im Windkessel zu benutzen und so deren Druck zu erhöhen. Der Dampf wurde ja verfügbar, sobald das Wasser in den Windkessel eingetreten war. Da das beim neuen Hub wieder eintretende Wasser die Luft in NN dann wieder abkühlte, so wird man nicht umhin können in diesem Vorschlag Leibnizens die erste Idee der kalorischen Maschine zu sehen. Dafür sprechen auch die Worte, mit denen er seinen Vorschlag in dem Brief an Papin vom 4. Februar 1707 einleitete[1]: »Ich habe immer daran gedacht, dass man eine große Wirkung erzielen und eine bedeutende Menge Kraft in einem kleineren Raume aufspeichern könne, mit Hilfe komprimierter und nachher erwärmter Luft, welches von großem Nutzen für die fortzubewegende Maschine sein müsste.«

Nach alle diesem kann kein Zweifel sein, dass Papin seine Maschine selbständig erdacht und von keiner anderen Erfindung, am wenigsten von

1) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 374. Vgl. Wiedemanns Annalen. VIII. S. 357.

der von Savery beeinflusst gewesen ist. Sind beide Erfindungen nicht unabhängig voneinander, für welche Annahme jedoch kein Grund vorliegen dürfte, dann hat Savery, der Papins Schriften recht wohl kennen konnte, Papinsche Gedanken, aber nicht umgekehrt benutzt. Zu Papins großem Ärger blieb der beschriebene Versuch der einzige, welcher mit der Maschine angestellt wurde. Er verließ noch im Jahre 1707 Kassel und begab sich nach London, wo es ihm aber nicht glückte, die Erfindung der Dampfmaschine weiter zu fördern. Es bleiben aber noch einige Versuche und Erfindungen hier zu besprechen, die teils ihm, teils Leibniz gehören.

11. Weitere Arbeiten Papins und Leibnizens. Das Aneroïd.

In den langen Pausen, die Papin während des Baues seiner Dampfmaschine zu machen gezwungen war, verfolgte er andere Ideen weiter, von denen, wie bereits angedeutet wurde, die wichtigste die war, die Dampfmaschine zur Fortbewegung von Schiffen zu benutzen. Dazu mussten aber erst einige ebenso wichtige, wie unerlässliche Vorarbeiten ausgeführt werden. Vor allen Dingen bedurfte er eines Mechanismus, mit dessen Hilfe es möglich war, die Arbeit der Maschine zum Rudern zu benutzen. Als solcher erwiesen sich ihm die Ruderräder am zweckmäßigsten, die eben aufgekommen und durch Prinz Ruprecht von der Pfalz, welcher mit einem von ihnen bewegten Schiffe die Themse befahren hatte, allgemein bekannt geworden waren. Ein solches Schiff mit Ruderrädern baute nun Papin, um zunächst deren Wirkung zu erproben. Kurz vor seiner Abreise von Kassel, die er auf demselben Schiffe bewerkstelligte, machte er die betreffenden Versuche, zu denen Leibniz von Hannover herübergekommen war. Das Ergebnis war durchaus zufriedenstellend. Es sind dies die Versuche, die zu der so lange hartnäckig behaupteten Sage Veranlassung gegeben haben, Papin habe die Fulda mit einem Dampfschiff befahren. Dass es sich nur um die Ruderräder handelte, geht auch aus dem Brief hervor, den Leibniz dem scheidenden Freunde als Empfehlung an den damaligen Sekretär der Royal Society, an Dr. Sloane (1660—1752) mitgab und der datiert vom 23. September 1707 mit den Worten beginnt[1]: »Argonaute bin ich auf dem Schiffe, um es mit dem neuen aus drehbaren Flügeln bestehendem Ruder den Fluss befahren zu sehen.« Es ist bereits erwähnt, dass Papin sein Schiff bei der Reise nach England verlor und dass seine Hoffnungen auf gute Aufnahme und Unterstützung seitens der Royal Society sich nicht erfüllten.

Dieses Scheitern seiner Pläne hat für uns freilich den Vorteil gehabt, dass er alles, was ihm an erprobten und zu erprobenden Ideen zur Ver-

---

1) Gerland, Sitzungsberichte [illegible] nschaften. Physikalisch-mathematische Klasse. [illegible]

fügung stand, der Royal Society anbot und dass diese uns so erhalten sind. Dass ihm die antiseptische Wirkung der schwefeligen Säure, das Konservieren durch Auskochen mit nachherigem luftdichten Verschluss bekannt war, sahen wir. Nun machte er den Vorschlag eines Apparates zum Einatmen verdichteter Luft, was für gewisse Krankheiten heilsam sein sollte, er schlug besondere Gewächshäuser zur Acclimatisation exotischer Pflanzen vor, verfertigte ein Kunstschloss, ohne durch alle diese schönen Ideen und Arbeiten, die damals zum Teil verfrüht waren, seine äußere Lage verbessern zu können.

Von besonderer Wichtigkeit wurden eine Reihe von Arbeiten, die den Zweck verfolgten, Häute durch Kochen in Öl für die Luft undurchdringlich zu machen. Er stellte so das erste Luftkissen her, versprach auch Leibnizen eins zu senden, scheint aber sein Versprechen nicht eingelöst zu haben. Doch beabsichtigte der letztere, sich dieses Leders zur Herstellung eines Aneroïdbarometers zu bedienen. »Man erzählt mir«[1], schreibt er am 21. Juni 1697 an Papin, »von einen transportablen Barometer mit Quecksilber, ich glaube, dass man eines ohne Quecksilber durch eine Art von wohl geschlossenem Blasebalg oder nach Art einer Pumpe herstellen könnte.« Und am 3. Februar 1702 an Johann Bernoulli in Gröningen[2]: »Ihre Barometerkonstruktion [von derselben wird sogleich die Rede sein] ist äußerst geistvoll und durchaus brauchbar. Ich habe auch zuweilen an ein tragbares Barometer gedacht, welches in einem einer Uhr ähnlichen kleinen Behälter eingeschlossen werden könnte. Quecksilber soll dabei nicht zur Verwendung kommen, statt dessen eine Art Blasebalg, welchen das Gewicht der Luft zusammenzudrücken sucht, während er durch die Kraft irgend einer elastischen Feder Widerstand leistet.« Die letzte Bemerkung über den interessanten Entwurf macht Leibniz in dem Brief an Papin vom 26. September 1702. »Ich verfolgte«, sagt er[3], »mit dem Leder oder anderen für die Luft undurchdringlichen Säcken einen Zweck, welcher wichtiger war, als er anfangs schien und ich werde eines Tages Gelegenheit haben, Sie davon zu unterhalten.« So kann man sich ein vollständiges Bild des Planes von Leibniz machen; nur über die Art, wie er die Ablesungen machen wollte, ist uns nichts erhalten.

Wie wir hier demnach bei Leibniz die erste Idee des Aneroïdbarometers deutlich ausgesprochen finden, so bergen seine hinterlassenen Papiere noch eine Menge Pläne und Untersuchungen, welche jedoch in den meisten Fällen zu Experimenten nicht geführt haben. Man staunt auch bei Durchsicht dieser über des großen Gelehrten Vielseitigkeit, die ihn neben den

---

1) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 288.

2) Gerhardt, Leibnizens mathematische Schriften. II. Abt. Bd. III. Halle a. S. S. 692.

3) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 269.

abstrakt wissenschaftlichen Problemen die Konstruktion von Wagen, den Aufgaben der Schiffahrt sich haben befassen lassen. Dass er eine »machina coelestis« entworfen hat, haben wir bereits gesehen. Auch eine Rechenmaschine hat er ausführen lassen; sie ist noch in Hannover vorhanden.

Amontons und Fahrenheit.

1. Amontons' Verbesserung des Barometers und Thermometers.

Wir haben die Erfindung der Dampfmaschine soweit verfolgt, wie sie noch im Stadium des physikalischen Versuches verharrte. Sie wurde bald durch New Comen, der Papins Arbeiten durch Hookes Vermittelung kennen gelernt hatte, für die technische Verwendung fähig gemacht. Nur deshalb haben wir dieser Maschine hier Erwähnung zu thun, als sie die Richtigkeit von Papins Schlussfolgerungen bewies, als sie ihm dadurch den Ruhm die Dampfmaschine erfunden zu haben sichert. Andere Entwürfe für die Herstellung von »Feuermaschinen«, die damals auch auftauchten, haben es eben zu irgend welcher Verwendung nicht bringen können.

Zu diesen gehört namentlich die rotierende Feuermaschine des Pariser Akademikers Amontons[1]), die bei den Zeitgenossen großes Aufsehen erregte. Sie bestand aus einem Rad, welches senkrecht zur Achse in vier Abteilungen geteilt war. Jede dieser Abteilungen enthält wieder zwölf Kammern, von denen die der einen mit Luft gefüllt waren, während die Bestimmung derer der benachbarten war, Wasser aufzunehmen. Je eine Luftkammer stand in solcher Weise mit einer Wasserkammer in Verbindung, dass die sich ausdehnende Luft das Wasser aus einer Kammer in eine andere trieb und so das Rad in Drehung versetzte. Dabei wurde die Luftkammer nach unten geführt und kühlte sich, nunmehr aus der Nähe des Ofens entfernt, ab, während eine folgende erhitzte Luftkammer eine neue Drehung in dem nämlichen Sinne hervorrief. Weniger ihre Brauchbarkeit für technische Zwecke, als die hübsche ihr zu Grunde liegende Idee mag Ursache geworden sein, dass diese nach allen Seiten durch neue Entwürfe auszubeuten versucht wurde, ohne dass sie irgend welchen Erfolg erzielt hätten.

Ebenso ideenreich, aber von ungleich höherer praktischer Bedeutung sind die Arbeiten Amontons' zur Verbesserung und Neueinführung der Instrumente zu meteorologischen Beobachtungen. In richtiger Würdigung der Wichtigkeit der Kenntnis des Barometerstandes für den Seefahrer suchte er ein für diesen brauchbares Wetterglas herzustellen[2]). Er wollte

1) Amontons, Mémoires de l'Académie Française. 1699. S. 112.
2) Amontons, Remarques et expériences physiques. Paris 1665. S. 121.

die veränderliche Länge der vom Luftdruck getragenen Quecksilbersäule ablesbar zu machen, ohne ein Gefäß benutzen zu müssen, in welches das Quecksilber aus dem Barometerrohr treten müsse; denn infolge der Schwankungen des Quecksilbers in einem solchen war immer die Gefahr vorhanden, dass Luft in das Barometerrohr eintrete. Um diesen Zweck zu erreichen, ließ er den Hohlraum des Barometerrohres sich nach unten zu verengern, indem er jedoch nicht versäumte, ihre untere Öffnung zum bequemen Einfüllen des Quecksilbers trichterförmig zu gestalten. Fig. 224 ist eine Nachbildung seiner ein solches Barometer darstellenden Figur. Das Rohr wurde auf ein Brett befestigt, das oben eine Teilung in zehn gleiche Teile trug. Wurde das mit Quecksilber gefüllte Rohr umgekehrt, so sank die Flüssigkeit in ihm soweit herab, dass ihre Länge dem Barometerstand gleich wurde, den ein gewöhnliches Heberbarometer angezeigt hätte. Die Viskosität des Quecksilbers aber hinderte dies am Herausfallen. Die Skala war so angebracht, dass bei dem tiefsten Barometerstande das oberste Ende der Quecksilbersäule an ihrem untersten Punkte sich befand. Nach der Ablesung wurde das Barometer wieder umgekehrt, dabei aber ein zu heftiges Anstoßen des Quecksilbers an das geschlossene Rohrende vermieden.

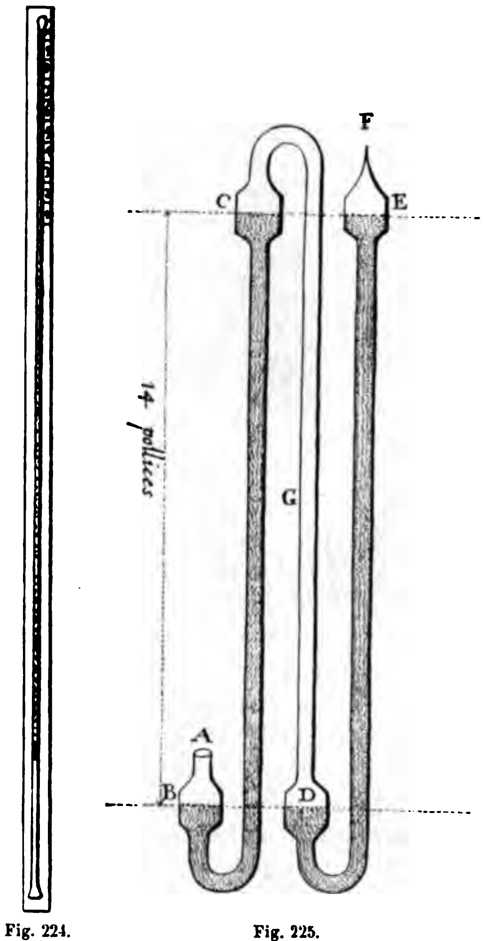


Fig. 224. Fig. 225.

Ein anderer Plan Amontons'[1]), den Fig. 225 zur Darstellung bringt, suchte ein abgekürztes Barometer herzustellen. Dazu zerlegte der Pariser Akademiker das Barometerrohr in zwei Teile AC und DF und verband diese durch das mit trockener Luft gefüllte Röhrenstück CGD. So konnte er ein Doppelbarometer von nur 14 Zoll Länge herstellen, teilte er das Rohr in drei Teile mit zwei Verbindungsstücken, gar nur von 9 Zoll Länge.

1) Amontons, Acta Eruditorum 1688. S. 374.

Den Einfluss der Lufttemperatur dabei zu berücksichtigen, lag ihm, wie man sieht, noch fern.

Um die Thatsache, dass bei Sturm das Barometer niedrig zu stehen pflegt, zu erklären[1], konstruierte er den Apparat Fig. 226. *ADBF* ist ein cylindrisches Holzgefäß, in dessen unteren Teil ein mit einem Hahn *B* verschließbares Rohr *GB* mündet. Goss man in das große Gefäß bei geöffnetem Hahn Wasser, so stellte es sich in diesem ebenso hoch, wie in dem seitlichen Rohr. Wurde dann der Hahn *B* verschlossen, das Wasser in *ADFB* mittels eines spatelförmigen Stückes Holz in möglichst heftige wirbelnde Bewegung versetzt und dann *B* wieder geöffnet, so sank das Wasser in *CB*, das vorher bis *C* gestanden hatte, bis *E* herab.

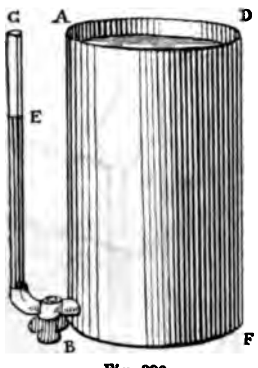


Fig. 226.

Wenn nun auch Amontons' Barometer zu häufigerer Verwendung nicht gekommen sind, so zeichneten sie sich vor den Konstruktionen vieler Zeitgenossen doch auf das vorteilhafteste durch die neuen zu Grunde liegenden Gedanken aus. Das tritt sofort hervor, wenn man das von Cassini (1677—1756) erdachte, von Joh. Bernoulli (1667—1748) 1716 zur Ausführung gebrachte Barometer (vgl. S. 239) oder das Morelandsche Winkelbarometer dagegen hält. Beide Instrumente sollten eine genauere Ablesung ermöglichen und zu diesem Zwecke wurde der Teil des Barometers, vor dem die Skala angebracht werden sollte, mehr oder weniger horizontal gelegt. Moreland[2] (1625—1695), nach Leupold vor ihm noch Rammazini[3] (1633—1714) brachte sie an dem oberen Teil des Rohres eines Gefäßbarometers an, den er knieförmig bog, Cassini und Bernoulli[4] am kurzen Schenkel des Heberbarometers, dessen langen sie oben zu einer Kammer erweiterten. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit ließen sie den unteren Teil wohl auch in Schlangenwindungen verlaufen. Hooke[5], von dessen Radbarometer weiter unten noch die Rede sein wird, nahm zu dessen Herstellung den Guerickeschen Schwimmer wieder auf, sein See- oder Marinebarometer aber war nichts anderes, als das Galileische oder Fluddsche Luftthermometer, neben dem ein Alkoholthermometer zur Bestimmung der Temperatur aufgestellt war. Eine neben dem ersteren angebrachte, mit Zeiger versehene verschiebbare Skala erlaubte den Barometerstand mit hinreichender Genauigkeit abzulesen, wenn man den Zeiger auf der Skala des Luftthermometers auf die Temperatur einstellte, die das Alkoholthermometer angab[6].

---

1) Amontons, Remarques etc. S. 142.

2) Vgl. Gehler, Phys. Wörterb. I. S. 773 und 774.

3) Gilberts Annalen II. S. 334. 4) [illegible] Acta Eruditorum. 1716. S. 10.

5) Hooke, Micrographia [illegible] 1.

6) Halley, Philosophic [illegible] aguiliers, II. S. 391

Größere Genauigkeit der Ablesung suchte dagegen Derham[1]) (1657—1735) dadurch zu erreichen, dass er einen an einer Zahnstange befestigten Zeiger auf die Kuppe des Quecksilbers im kurzen Schenkel des Heberbarometers einstellte und so ein Getriebe und einen zweiten auf seiner Achse befestigten über eine Teilung spielenden Zeiger bewegte. In höherem Grade erreichte dieses Ziel Stephen Gray[2]) (gest. 1736), als er 1698 den Vorschlag machte, die Ablesungen des Barometerstandes mit Hilfe eines an einer senkrechten Säule *BB* verschiebbaren Mikroskopes *F* zu machen, wie Fig. 227 erläutert. Auf der Säule wurden die größeren Höheneinheiten (Zolle), auf der Kreisteilung *K* mittels des mit der das Mikroskop bewegenden Schraube *II* verbundenen Zeigers *on* die Unterabteilungen jener abgelesen. Es ist dieser Apparat wohl als erstes Kathetometer zu betrachten. Auch das Wagebarometer von Moreland[3]) hat sich als brauchbar erwiesen. Wird es doch noch jetzt nicht selten als registrierendes Barometer verwendet. Es hing an dem einen Balken einer zweiarmigen Hebelwage, dessen anderer Balken ein für den mittleren Barometerstand äquilibriertes Gewicht trug.

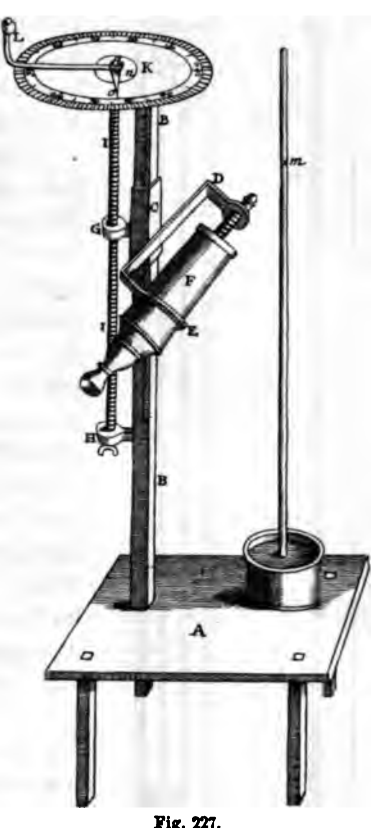


Fig. 227.

Den Apparat, welchen Amontons zur Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft konstruierte[4]), bildet Fig. 228, S. 244, ab. Er sucht eine Idee zu verwirklichen, deren Brauchbarkeit dadurch am besten gekennzeichnet wird, dass sie fast hundert Jahre später Deluc allerdings in verbesserter Form wieder aufnahm. Das Hygrometer Amontons' bestand aus einer Glasröhre, welche sich oben in die Kugel *A*, unten in die *B* erweiterte, von denen jede eine kleine Öffnung hatte, jene bei *G*, diese bei *C*. Die untere war von einer weiteren bei *E* mit Mastix angekitteten Kugel aus Buchenholz, Horn oder Lammsleder umschlossen und enthielt, ebenso wie der untere Teil von *C* Quecksilber. Auf ihm befand sich eine Flüssigkeit

1) Derham, Philosophical Transactions 1698. No. 237. S. 45.
2) Gray, Philosophical Transactions 1698. No. 240. S. 176.
3) Hutton, Dict. I. S. 207. Vgl. Gehler, Phys. Wörterbuch. I. S. 773.
4) Amontons, Mémoires de l'Académie Française. Paris 1688. S. 245.

von niedrigem Schmelzpunkt, auf welche etwas Öl gegossen war. Ihr oberes Ende ließ auf der Skala, welche auf dem den Apparat tragenden Brette AF angebracht war, erkennen, ob sich der Durchmesser der Kugel verengert oder erweitert und daraus darauf schließen, dass die Luftfeuchtigkeit ab- oder zunahm. Behaupten hat sich dies Hygrometer freilich nicht können.

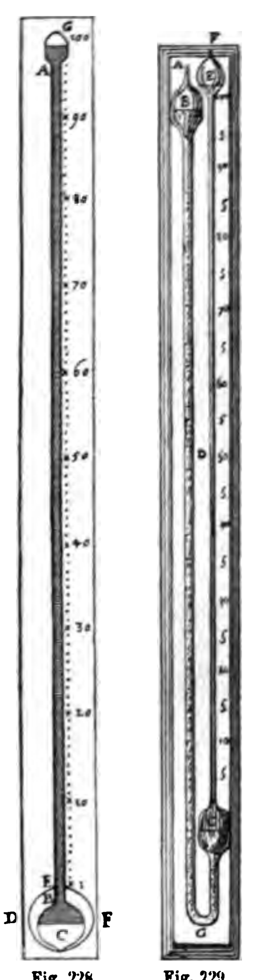


Fig. 228. Fig. 229.

Während dieser Apparat ganz neu von Amontons geschaffen wurde, suchte er ein brauchbares Thermometer zu erhalten, indem er, angeregt durch Hookes Marinebarometer, das Luftthermometer von den Einwirkungen des wechselnden Luftdruckes zu befreien suchte. Den Apparat, den er verwendete, zeigt Fig. 229. Er besteht aus einem Heberbarometer AGC, welches bei C in eine Kugel erweitert ist und in ein oben gleichfalls eine Kugel tragendes dünnes Rohr CF ausläuft. Bei A und F ist die Röhre hermetisch verschlossen; AB ist ein luftleerer, FE ein mit Luft gefüllter Raum. BGC ist mit Quecksilber gefüllt, FC mit einer Lösung von Kalikarbonat bis D, von da bis E mit Steinöl. Der Apparat ist auf ein Brett befestigt, welches neben CF eine Gradeinteilung trägt.

Die Art, wie der Apparat von dem Künstler des Königs Hubin dargestellt wurde, ist nach Amontons' Beschreibung die folgende[1]. »Man befestigt mit Siegellack einen kleinen Glastrichter an F, gießt dann in das aufrecht gestellte Glas ohne Unterbrechung Quecksilber, indem man ihn immer voll hält, bis es über B steht. Dann hört man mit Zugießen auf, die Luft, welche sich oben in dem Gefäß C befindet, stößt das wenige, im Rohre D vorhandene Quecksilber zurück, worauf das Quecksilber des Gefäßes B in das Gefäß C steigt, bis es die gleiche Höhe wie im Rohre BG erreicht hat. Man gießt nun von neuem Quecksilber in den Trichter und fährt damit so lange fort, bis es sich $\frac{1}{2}$ Zoll unter A befindet und lässt dann, was zu viel ist, ausfließen, indem man das Gefäß ein wenig neigt. Um das Ende A zu verschließen, lässt man das Glas in dem Zustande, in dem es sich befindet, also bis $\frac{1}{2}$ Zoll unter A mit Quecksilber gefüllt, von jemandem halten oder stützt es besser gegen einen Tisch oder einen anderen festen Gegenstand und bläst mit einem kleinen Glas- oder

1) Amontons, a. a. O. S. 150 ff.

Kupferrohre, von dem man das Ende des längeren Armes in den Mund nimmt und das kürzere nahe an eine große Kerzenflamme hält, diese Flamme auf das Ende *A*, welches rot wird und die die Form einer kleinen Kugel annimmt; man muss sich dabei wohl in acht nehmen, dass man diese Flamme nicht an die Stelle bläst, an welcher sich das Quecksilber befindet. Wenn man einen geübten Arbeiter zu seiner Verfügung hat, geht das ganz leicht.

Ist nun das Ende *A* geschlossen, so kehrt man das Glas um, indem man unter den Trichter ein Gefäß hält, in welches das Quecksilber fließt, welches von *F* bis *G* enthalten war, indem solches nur von *G* bis *A* bleibt. Darauf muss man das Glas wieder in seine frühere Lage aufrichten, indem man wohl darauf achtet, dass der Schenkel *GA* unter dem Schenkel *GF* bleibt, damit nicht von der in *F* enthaltenen Luft etwas nach *BA* trete. Hat man dies gethan, so steigt das im Gefäße *B* enthaltene Quecksilber wieder in das Gefäß *C*; man gießt nun in den Trichter so viel gefärbtes Weinsteinöl [zerflossenes kohlensaures Kali], dass es die Hälfte des Rohres *D* und die Hälfte des Gefäßes *C* anfüllt. Um diese Flüssigkeit rasch einfließen zu lassen, wenn der Trichter gefüllt ist, neigt man sanft das Glas, was auch notwendig ist, um die Luft, welche an ihm haftete, auszutreiben. Sie tritt aus, nachdem man das Glas ein wenig geneigt hat und nun in die frühere Lage zurückbringt. Doch muss man sich hüten, nicht zu viel dieser Flüssigkeit zu Anfang zu nehmen, weil es schwer ist, sie wieder zu entfernen; man bringt sie deshalb besser in mehreren kleinen Mengen ein.

Nachdem man so das Weinsteinöl eingebracht hat, gießt man in den Trichter so viel Steinöl, dass es ungefähr das ganze Rohr *D*, welches zwischen den Gefäßen *C* und *L* liegt, anfüllt, indem man eher etwas zu viel wie zu wenig nimmt, und entfernt nun den Trichter; lässt dann das Rohr 7 oder 8 Tage stehen, damit das Quecksilber während dieser Zeit einen Teil der Luft, welche es absorbiert hat, abgeben und jede der Flüssigkeiten ihren wahren Zustand annehmen kann, und schließt das Ende *F* ebenso wie das andere, wobei man sich hüten muss, die Luft im Gefäße *E* zu erwärmen, zu welchem Zwecke man es mit einem feuchten Leinenlappen bedeckt. Endlich ist nur noch übrig, das Thermometer auf der Unterlage zu befestigen«.

Wenn bei diesem Thermometer auch vom Auskochen des Quecksilbers und Trocknen der Luft noch nicht die Rede ist, so würde man doch recht genaue Beobachtungen damit haben anstellen können, wenn man in der Lage gewesen wäre, eine richtige empirische Skala aufzutragen. Eine solche fehlte noch, und sie suchte Amontons zunächst zu erhalten. Er veröffentlichte die Ergebnisse der dies erstrebenden Arbeit 1703 in den Memoiren der Pariser Akademie unter dem Titel: »Das Thermometer, zurückgeführt auf ein festes und sicheres Maß, und das Mittel, die mit den alten

Thermometern gemachten Beobachtungen daran anzuschließen«[1]), einer Arbeit, welche noch im Jahre 1779 Lambert[2]) zu dem Ausrufe begeisterte, dass sich Amontons darauf »recht viel zu gute halten konnte, und die vielleicht deswegen, weil sie zu schön und sehr wahr ist, Ungläubige vor sich fand«.

Amontons[3]) beginnt mit der Kritik der Thermometer seiner Zeit und findet, dass ihre Grade durchaus kein Maß der Wärme abgeben, dass vor allem an ihre Stelle Brauchbareres gesetzt werden müsse. Da aber die große Masse des Weingeistes in den zu seiner Zeit gebräuchlichen Thermometern die Wärme zu langsam aufnimmt, so hält er es für richtiger, auf das Luftthermometer zurückzugehen, den durch das ungleiche Kaliber des Rohres etwa entstehenden Fehler dadurch vermeidend, dass er das Volumen konstant hält und den Druck ändert. Sein Luftthermometer bestand also, wie später das von Regnault, Magnus u. a. aus einem U-förmig gebogenen Glasrohre mit einem kurzen, zu einer Kugel aufgeblasenen geschlossenen und einem etwas über 45 Zoll langen offenen Schenkel. Diese Länge wählte er, weil er gefunden hatte, dass, wenn er den Apparat, bei dem Luftdrucke von 28 Zoll in siedendes Wasser tauchte, er eine Quecksilbersäule von 45 Zoll Höhe aufgießen musste, um das Volumen der Luft in der Kugel seinem ursprünglichen gleich zu halten. Befand sich die Kugel in schmelzendem Eise, so war für denselben Zweck nur eine Quecksilbersäule von $23\frac{1}{2}$ Zoll nötig, so dass in dem ersten Falle die Luft unter einem Drucke von $45 + 28 = 73$, in dem zweiten unter einem solchen von $23\frac{1}{2} + 28 = 51\frac{1}{2}$ Zoll stand. Nun hatte Amontons bereits 1695 gefunden, »dass ungleiche Massen Luft, unter gleichen Drucken stehend, ihre Spannkraft um denselben Wert durch Temperaturerhöhung um gleiche Grade vermehrten«, wobei er unter Graden versteht[4]), »die Anzahl Zolle und Linien in Quecksilberhöhen, welche die Wärme der Spannkraft der Luft das Gleichgewicht zu halten ermöglicht, so dass es scheint, dass die äußerste Kälte dieses Thermometers diejenige wäre, bei welcher die Luft keine Spannkraft mehr ausüben könnte, also ein viel beträchtlicherer Kältegrad als der ist, den man für sehr kalt erklärt«.

Diese bisher viel zu wenig gewürdigten Arbeiten empfehlen also wie Huygens, dessen Vorschlag aber nicht in die Öffentlichkeit gedrungen und Amontons ganz sicher unbekannt war, den Siedepunkt des Wassers als zweiten festen Punkt des Thermometers, sie geben zum ersten Male die Definition des absoluten Nullpunktes der Temperatur; sie stellen end-

---

1) Amontons, Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Anno 1703. Avec le Mémoire de Mathematique et de Physique pour la même Année. Paris 1705. S. 50.

2) J. H. Lambert, Pyrometrie oder vom Maße des Feuers und der Wärme. Berlin 1779. S. 29.

3) Histoire de l'Académie Royale des Sciences 1703. Paris 1705. S. 156.

4) Histoire etc. 1703. S. 52.

lich das später nach Gay-Lussac genannte Gesetz der Proportionalität der Volumina derselben Luftmenge und ihrer absoluten Temperaturen bei ungeänderten Drucken auf. Da Amontons[1]) mit Baco von Verulam und Newton das Wesen der Wärme in einer kontinuierlichen und sehr heftigen Bewegung der »Feuerteilchen« sah, die auf die Teilchen der festesten Körper einen Teil ihrer Bewegung übertragen können, so musste er als Temperatur des absoluten Nullpunktes diejenige ansehen, bei der die Bewegung der Teilchen aufhört, die Spannkraft der Luft Null wird.

Einem solchen schönen theoretischen Ergebnisse, das die moderne Wissenschaft erst in seiner ganzen Bedeutung gewürdigt hat, entspricht freilich die geringe Vorsicht, welche Amontons bei der Ausführung seiner Versuche anwendete, in keiner Weise. Daraus, dass er die Luft in seinem Barometer nicht trocknete, dürfte ihm freilich kaum ein Vorwurf zu machen sein, waren doch zu seiner Zeit, wie wir sahen, die Kenntnisse vom Wasserdampfe noch ganz unzureichend. Dass er aber bei der Benutzung des Siedepunktes des Wassers als zweiten festen Punkt des Thermometers die Abhängigkeit vom Barometerstande nicht bemerkte, ist Ursache geworden, dass seine Versuchsresultate an Wert weit hinter seinen theoretischen zurückstehen. So ergiebt sich aus seinen Versuchen die Temperatur des absoluten Nullpunktes nur zu —239°,5 der 100teiligen Skala, und die Technik seiner Versuche geht nicht über die der Zeitgenossen hinaus. Sollten also Amontons' Arbeiten fruchtbringend werden, so musste die physikalische Technik entsprechend gefördert werden. Die Arbeiten, die dies erreichten, soll unser folgender Abschnitt betrachten.

2. Fahrenheit und die Verbesserungen des Thermometers.

Sollten die Thermometer eine wesentliche Verbesserung erfahren, so war ein entsprechender Fortschritt in der Kunst der Bearbeitung des Glases die notwendige Vorbedingung. Diesen Fortschritt machte um die Wende des 18. Jahrhunderts der Danziger Kaufmannssohn Fahrenheit (1686—1736), der den größten Teil seines Lebens in Amsterdam verbrachte. Von der Vortrefflichkeit seiner Arbeit legen zwei Thermometer Zeugnis ab, welche sich im physikalischen Kabinett der Universität Leiden befinden. Der Eispunkt des einen liegt bei 34°,2, der des anderen bei 34°,1. Obgleich sie den Namen Fahrenheit tragen, so würde man sie kaum für echt, vielmehr für jüngere Apparate halten, wenn nicht das eine 1724 von 's Gravesande abgebildet[2]) und durch seine eigentümliche Form leicht zu identifizieren gewesen wäre. Es ist in Fig. 301 S. 306 zwischen den beiden

1) Histoire etc. 1703. S. 50 und 1702 S. 173.

2) 's Gravesande, Physices Elementa mathematica Experimentis confirmata. 3. Aufl. 1742. Tomus II. Taf. 81. Fig. 4.

Cylindern dargestellt. Die Thermometer mit cylindrischem Gefäße sind
geteilten Messingplatten befestigt und die Teilungen sind so vorzügl
dass man unwillkürlich auf den Gedanken kommt, Fahrenheit habe s
dazu maschineller Hilfsmittel bedient. Unmöglich wäre dies nicht, d
die erste Teilmaschine hat 1667 Richard Townley[1]) konstruiert, und
wäre es denkbar, dass Fahrenheit eine solche verwendet hätte. D
ist es nicht sehr wahrscheinlich, da Fahrenheit selbst uns nichts d
über berichtet.

Wenn er der Londoner Royal Society auch erst 1726 Mitteilun
machte über die Art, wie er seine bewunderungswürdigen Apparate h
stellte, so sind diese so ausführlich, dass er die Benutzung der Teilmasch
gewiss nicht unerwähnt gelassen haben würde. »Hauptsächlich«, so sc
dert er[2]) seine Instrumente und ihre Bearbeitung, »werden zwei Arten
Thermometern von mir hergestellt, die eine mit Weingeist, die andere
Quecksilber gefüllt. Je nach dem Gebrauche, dem sie dienen sollen,
ihre Länge verschieden; alle haben aber das mit einander gemein, d
sie bei allen Skalenteilen übereinstimmen und zwischen festen Gren
ihre Schwankungen ausführen. Die Skala der Thermometer, welche a
schließlich zu meteorologischen Beobachtungen dienen, fängt unten mit N
an und geht bis zum 96. Grade. Die Teilung dieser Skala stützt sich
drei feste Punkte, welche künstlich auf folgende Art hergestellt wer
können: Den ersten derselben findet man am untersten Ende oder am A
fange der Skala, und zwar erhält man ihn durch eine Mischung von I
Wasser und Salmiak oder auch Meersalz; stellt man das Thermometer
eine solche Mischung, so sinkt seine Flüssigkeit bis zu dem mit Null
zeichneten Punkte. Dieser Versuch gelingt besser im Winter als im Somn
Den zweiten Punkt erhält man, wenn man Wasser und Eis ohne die
wähnten Salze mischt und in diese Mischung das Thermometer setzt;
wird dann seine Flüssigkeit den 32. Grad einnehmen, der von mir A
fangspunkt des Frierens genannt wird; denn es werden die stehenden G
wässer schon mit sehr dünnem Eise bedeckt, wenn im Winter die Th
mometerflüssigkeit diesen Grad erreicht. Den dritten Punkt findet m
beim 96. Grade, und zwar dehnt sich der Weingeist bis zu diesem Gr
aus, wenn man das Thermometer im Munde oder in der Achselhöhle ei
gesunden Menschen so lange hält, bis es ganz genau die Körperwärme
langt hat. Wenn man aber die Wärme eines Fieberkranken oder ei
an einer anderen Krankheit Leidenden erforschen will, muss m
sich eines anderen Thermometers bedienen, dessen Skala bis zum 1
oder 132. Grade reicht. Ob diese Grade für die heftige Fieberhitze

1) Townley, Philosophical Transactions. 1667. No. 29. S. 541.

2) Fahrenheit, Philosophical Transactions 1723 und 24. No. 382. S. 78. Ü
setzt von A. v. Oettingen in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Nr
Leipzig 1894. S. 6.

nügen, habe ich noch nicht erforscht, jedoch ist kaum anzunehmen, dass irgend eine Fiebertemperatur über diese hinausgehen sollte. Die Skala der Thermometer, mit welchen man die Temperatur siedender Flüssigkeiten untersucht, fängt ebenfalls mit Null an und enthält 600 Grade, denn bei diesem Grade ungefähr fängt das Quecksilber selbst, mit welchem das Thermometer gefüllt ist, zu kochen an. Damit aber die Thermometer auch von allen Veränderungen der Wärme schnell beeinflusst werden, haben sie an Stelle der Kugel Glascylinder erhalten, da sie wegen der größeren Oberfläche schneller von der sich verändernden Wärme durchdrungen werden«.

Drei feste Punkte benutzte also Fahrenheit bei der Herstellung der Skala seiner Thermometer, von denen der eine als Kontrolle der beiden anderen dienen konnte, und diesem Umstande mag es zuzuschreiben sein, dass seine Instrumente eine viel bessere Übereinstimmung zeigten als die italienischen, die zu seiner Zeit hauptsächlich die Handelsware bildeten[1]. Noch aber hatte er die Konstanz des Siedepunktes nicht erkannt, obwohl er die Siedepunkte einiger Flüssigkeiten bestimmt hatte. Erst später belehrten ihn verschiedene Versuche[2], »dass dieser Punkt, der bei derselben Schwere der Atmosphäre derselbe bleibt, bei veränderter Schwere der Atmosphäre sich in verschiedenem Sinne ändern könne«. Damit hatte er die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdrucke entdeckt, hatte seine Unveränderlichkeit erkannt. Ob er dann den Siedepunkt des Wassers bei der Herstellung seiner späteren Thermometer benutzt hat, wissen wir nicht, doch ist es nicht unmöglich. Jedenfalls aber ist es Fahrenheit gewesen, der zuerst den Eispunkt und Siedepunkt als wirklich unveränderliche Temperaturen erkannt hat.

Es wird nötig sein, diese Behauptung etwas näher zu begründen. Berichtet doch Hanow[3] (1695—1773), dass Römer (1644—1710) es gewesen sei, der Fahrenheit auf die Anwendbarkeit des Frierpunktes und Siedepunktes zuerst aufmerksam gemacht habe, schreibt man doch Newton die erste Anwendung des Siedepunktes bei der Herstellung von Thermometern zu und kannten doch bereits die Mitglieder der Accademia del Cimento die Unveränderlichkeit der Temperatur des Nullpunktes.

Was zunächst die Ansprüche anlangt, die für Newton erhoben wurden, so stützen sich diese auf die Versuche, welche er 1701 zur Begründung des von ihm aufgestellten Gesetzes des Erkaltens machte[4]. Dazu verfertigte er sich Thermometer, bei denen er den damals üblichen Alkohol des höheren Siedepunktes wegen durch Leinöl ersetzte. Nach Desaguiliers'[5] Schilderung, der drei solcher Instrumente nach Newtons Anweisung hergestellt hat, betrug der Durchmesser der Kugel 2 Zoll, der

1) Wolf, Acta Eruditorum. August 1714. S. 380.
2) Fahrenheit, Philosophical Transactions. XXXIII. 1723/24. No. 385. S. 179.
3) Momber, D. G. Fahrenheit, Altpreußische Monatsschrift. XXIV. 1887. S. 11.
4) Newton, Philosophical Transactions. 1701. No. 270.
5) Desaguiliers, A Cours of experimental Philosophy. Holländ. Übers. II. S. 375.

Durchmesser des Rohres ½ Zoll, die Länge des Rohres drei Fuß, gewiss keine günstigen Abmessungen für genaue Temperaturbestimmungen. Das Rohr wurde dann mit Quecksilber kalibriert, dabei dessen Stände auf ein daneben gestelltes Stück Papier verzeichnet. Darauf wurde das nunmehr mit Leinöl gefüllte Thermometer auf einem Sandbade so weit erhitzt, dass das Öl fast die ganze Röhre erfüllte und, weiße Dämpfe ausstoßend, zu sprazzen begann. Das geschah, um dem Öle das Phlegma (das in ihm enthaltene Wasser) auszutreiben. Um dabei zu verhüten, dass das Thermometer sprang, hatte Newton die Kugel mit Thon umgeben, während Desaguiliers dafür Sorge trug, dass die Temperatur des Thermometers nahezu mit der des Bades übereinstimmte. Als feste Punkte wurden der Schmelzpunkt des Schnees und die Temperatur des gesunden menschlichen Körpers genommen, jene mit 0° und diese mit 12° bezeichnet, danach die Siedetemperatur des Wassers zu 34°, die des erstarrenden Zinkes zu 72° gefunden. Man hat daraus die Temperatur des Siedepunktes zu 104°,03 der 100teiligen Skala berechnet und daher Gelegenheit genommen[1], die Schärfe dieser Bestimmung zu bewundern, wohl nicht ganz mit Recht, da Newton die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke, ebenso wie Amontons, unbekannt blieb.

Wenn demnach Römer wirklich Fahrenheit auf die Wichtigkeit jener Temperaturen für die Verfertigung von Thermometern aufmerksam machte, was übrigens von Bergen[2]) keinesfalls über jeden Zweifel erhaben hält, so waren es gewiss nur die ungenau bestimmten der früheren Forscher. Die Sache selbst ist indessen durchaus nicht unwahrscheinlich, da Fahrenheit 1709 Römer in Kopenhagen besuchte, von da aber 1710 sich nach Danzig begab, wo er höchst wahrscheinlich mit Hanow, als einer der ersten, welcher mit einem Fahrenheit'schen Thermometer beobachtete, in Berührung kam.

Muss nun Fahrenheit deshalb als der erste bezeichnet werden, welcher die Unveränderlichkeit der Siedetemperatur beobachtete, weil er deren Abhängigkeit vom Luftdrucke entdeckte, so war auch er es, der zuerst fand, dass wohl der Schmelzpunkt des Eises, nicht aber der Gefrierpunkt des Wassers ebenso unveränderlich ist. Als er Versuche über das Gefrieren des Wassers machte, erhitzte er ein in einem Röhrchen auslaufendes Glaskügelchen von etwa 1 Zoll Durchmesser, in welches er etwas Wasser gebracht hatte, bis das Wasser daraus entwichen war, schmolz die Öffnung des Röhrchens zu und brach seine Spitze unter Regenwasser ab. Es füllte sich zur Hälfte mit dem Wasser. Darauf wurde es wieder erhitzt und als das Wasser kochte, wieder zugeschmolzen und auf 15° abgekühlt; es

1) Muncke in Gehlers physikalischem Lexikon. Neu bearbeitet. IX. S. 859.

2) v. Bergen, De Thermometris mensurae constantis Commentatio, Francofurti ad viadrum 1745 erzählt: cui (Fahrenheit) Roemerus, physicis [illegible] tissime amicus congelationis ac ebullitionis terminos suggesserat, si Fides est Cl. Hanovio in Memorabilib[illegible]

blieb aber flüssig. Er schrieb die Erscheinung der Abwesenheit der Luft zu; denn als er die Spitze abbrach und Luft zutreten ließ, wurde die ganze Masse Wasser aufs schnellste mit Eisstückchen erfüllt. Als er dann zufällig ein solches Kügelchen in eine andere Kammer tragen wollte, zu der er einige Stufen emporsteigen musste, verfehlte er eine derselben, stolperte und sah nun zu seinem größten Erstaunen, bei der Erschütterung ebenfalls die Eisblättchen auftreten. Er erkannte da, dass der wahre Grund dieses plötzlichen Erstarrens die Erschütterung war, konnte jedoch weitere Versuche nicht anstellen, da Thauwetter eintrat[1]). Aber die Entdeckung der Möglichkeit der Überschmelzung lehrte ihn, dass als fester Punkt des Thermometers nur der Schmelzpunkt des Eises angenommen werden dürfe, und nicht, wie ihm Römer geraten hatte, der Gefrierpunkt des Wassers.

Nicht nur durch diese wichtigen Beobachtungen ermöglichte Fahrenheit die Herstellung zuverlässiger Thermometer, eine nicht weniger bedeutsame Verbesserung führte er ein, indem er den Alkohol als thermometrische Substanz durch Quecksilber ersetzte und so zu allgemeiner Anwendung brachte, was früher wohl vereinzelt versucht worden war. Dass er bereits Quecksilberthermometer anfertigte, haben wir gesehen, der vorzügliche Zustand, in dem sie sich noch am heutigen Tage befinden, legt Zeugnis dafür ab, dass er das Quecksilber in gut gereinigtem Zustande verwendete. Wie er es reinigte, hat er uns freilich nicht mitgeteilt; man wird annehmen dürfen, dass es durch Destillation geschah, wie man so gereinigtes Quecksilber bereits seit 1655 Dobczensky[2]) zur Füllung von Barometern verwendete.

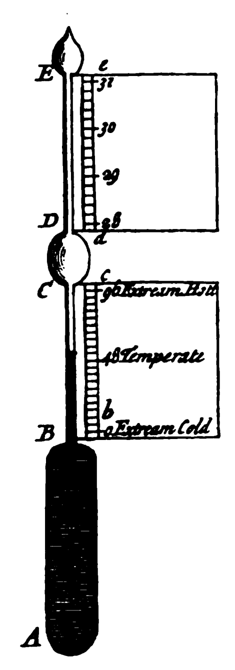


Fig. 230.

Die Entdeckung der Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdrucke führte Fahrenheit auf die Erfindung des Hypsometers, dem er die in Fig. 230 dargestellte Form gab. »An den Cylinder *AB*«, so beschreibt er das neue Instrument[3]), »wird eine Röhre *BC* angesetzt, an welche sich ein längliches, kleines kugelförmiges Gefäß schließt, *CD*, und an dieses wieder ein Röhrchen mit außerordentlich dünnem inneren Querschnitte, *DE*. Der Cylinder wird mit einer Flüssigkeit gefüllt werden, welche die Wärme des siedenden Wassers ertragen kann. In der Röhre *BC* werden die Wärmegrade, wie sie in der Luft vorkommen, mit Hilfe der hinzugefügten Skala *bc* gemessen werden. Wenn aber das Thermometer in siedendes Wasser gestellt wird, wird die

---

[1]) Fahrenheit, Philosophical Transactions. XXXIII. 1723/24. No. 382. S. 78.
[2]) ...ns, Oeuvres complètes. V. S. 217.
[3]) ...it, Philosophical Transactions. T. XXXIII. 1723/24. No. 385. S. 179.

thermometrische Flüssigkeit nicht nur die kleine Kugel *CD* erfüllen, sondern auch bis zu verschiedenen Punkten des Röhrchens *DE* steigen, dem Wärmegrade gemäß, welchen das Wasser zur Zeit infolge des Luftdruckes erlangen wird«.

3. Fahrenheit und das Aräometer.

Auch seine nun noch darzustellenden Arbeiten über das spezifische Gewicht lassen **Fahrenheits** Umsicht im besten Lichte erscheinen. Schon der Grund, warum er für die Flüssigkeiten, deren Siedepunkte er bestimmt, auch ihre Dichtigkeiten untersucht, zeugen davon. »Das spezifische Gewicht einer jeden Flüssigkeit«, sagt er[1], »glaubte ich notwendig hinzusetzen zu müssen, damit, wenn die Resultate anderer Beobachtungen, welche schon angestellt sind oder in Zukunft angestellt werden, von den meinigen abweichen, man erkennen kann, ob dieser Unterschied in der Verschiedenheit des spezifischen Gewichtes oder in anderen Ursachen begründet sei. Die Untersuchungen sind außerdem nicht zu derselben Zeit angestellt, weshalb die Flüssigkeiten verschiedene Temperatur- und Wärmegrade hatten; weil nun dadurch das spezifische Gewicht verschiedenartige und ungleichmäßige Schwankungen erleidet, habe ich dasselbe durch Rechnung auf die Temperatur von 48 Graden zurückgeführt«.

Um Bestimmungen von solcher Schärfe zu erhalten, musste er freilich zunächst den dazu zu verwendenden Apparaten die nötige Genauigkeit geben. Man benutzte zu seiner Zeit das Volumenaräometer des Altertums

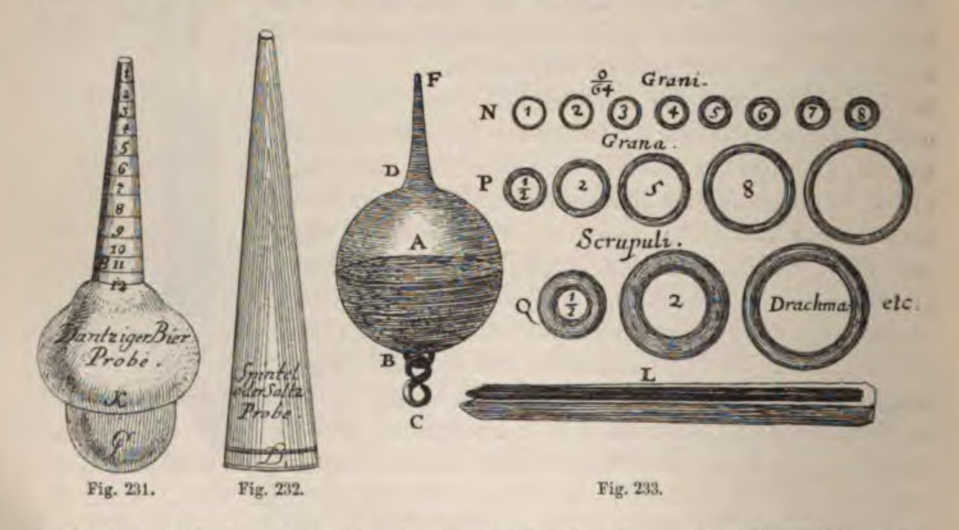


Fig. 231. Fig. 232. Fig. 233.

in höchst einfacher Form in der Technik als Bierprobe (Fig. 231), Salzprobe (Fig. 232) u. s. w. Aber auch das Gewichtsaräometer war in Gebrauch.

1) **Fahrenheit**, Philosophical Transactions. T. XXXIII. 1723/24. No. 383. S. 114.

Ihm begegnen wir zuerst in dem mehrerwähnten Reisewerke des Arztes Monconys[1]), der mit seiner Hilfe das spezifische Gewicht des Trinkwassers an vielen von den Orten, welche er besucht hat, bestimmte. Der Leser erinnert sich, dass zu dem gleichen Zwecke auch das Volumenaräometer konstruiert war und noch bis weit ins vorige Jahrhundert hinein, glaubte man durch solche Untersuchungen sich von der Güte des Trinkwassers versichern zu können. Später bildete Sturm[2]) den von Monconys benutzten Apparat ab — eine Nachbildung der von ihm gegebenen Figur zeigt unsere Fig. 233 — und daraufhin glaubte Leupold[3]) dem Lyoner Arzt die Erfindung des Gewichtsaräometers zuschreiben zu müssen. Hätte er das Werk von Monconys genau eingesehen, so wäre er schwerlich in diesen Irrtum verfallen, denn dieser nennt darin ausdrücklich de Roberval als Erfinder und giebt das Jahr 1664 als Zeitpunkt der Erfindung des Gewichtsaräometers an.

In seiner abgebildeten ältesten Form bestand es aus einer oben in eine Spitze F auslaufenden Glaskugel A, welche unten eine Öse B zum Anhängen des kleinen Gewichtes C trug. Sollte mit ihm das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit bestimmt werden, so legte man mit der Zange L soviel von den ringförmigen Gewichten N, P, Q um den Hals FD der Kugel, dass sie gerade bis F eintauchte. Diesem Instrumente warf Fahrenheit vor, dass man für verschiedene Flüssigkeiten auch verschiedene Aräometer brauchen müsse. Schwerer wiegt der Fehler, dass die aufgelegten Gewichte das Volumen des eingetauchten Instrumentes ändern. Gerügt hat ihn Fahrenheit nicht, wohl aber in dem Instrumente, was er herstellte, verbessert, wie die es darstellende Fig. 234 beweist. Es ist die Form des Apparates, unter der er noch heute in Verwendung steht.

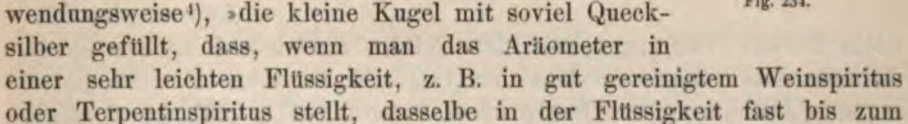


Fig. 234.

»Es wird«, so beschreibt Fahrenheit seine Anwendungsweise[4]), »die kleine Kugel mit soviel Quecksilber gefüllt, dass, wenn man das Aräometer in einer sehr leichten Flüssigkeit, z. B. in gut gereinigtem Weinspiritus oder Terpentinspiritus stellt, dasselbe in der Flüssigkeit fast bis zum

1) Monconys, Journal de voyages. 2. Partie. Lyon 1666. S. 27.

2) Sturmius, Collegium experimentale sive curiosum. Pars II. Norimbergae 1685. S. 61.

3) Leupold, Theatrum staticum universalis. Pars II. Leipzig 1726. S. 201.

4) Fahrenheit, Philosophical Transactions. T. XXXIII. 1723/24. No. 384. S. 140.

Punkte *a* sinkt. Hierauf wird die Röhre bei *E* hermetisch versiegelt und das Instrument mit Hilfe einer genauen Wage abgewogen; es wird dann das Gewicht des Instrumentes genau das Gewicht der von demselben verdrängten Flüssigkeit sein, wie dies dem der Hydrostatik kundigen hinreichend bekannt ist. Wenn aber schwerere Flüssigkeiten untersucht werden sollen, wie z. B. Wasser, Laugen, Säuren, so wird der Unterschied ihrer Schwere gefunden, wenn man das Instrument in dem Schälchen mit einem solchen Gewichte beschwert, dass es wiederum bis zum Punkte *a* sich senkt. Wenn man das Gewicht zu dem des Instrumentes addiert, so wird man die spezifischen Gewichte jener Flüssigkeiten, wenn die Gewichte sehr klein sind, genau erhalten und so bei den übrigen.«

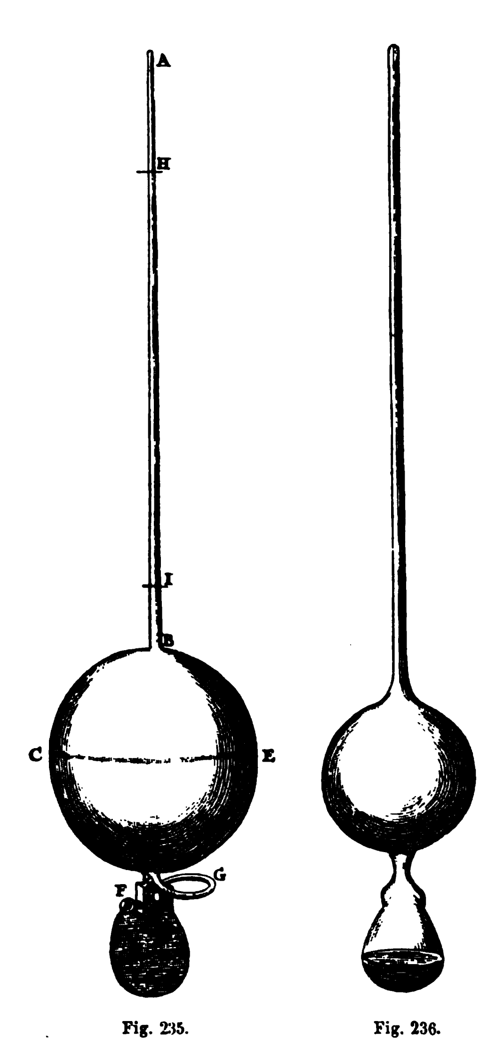


Fig. 235. Fig. 236.



Fig. 237.

Neben dem Gewichtsaräometer waren aber auch die Volumenaräometer und Pyknometer zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes häufig im Gebrauch. Das in Fig. 235 dargestellte Instrument benutzte Boyle[1]) zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Münzen, das in Fig. 236 erfüllte denselben Zweck bei Flüssigkeiten. Der Apparat, den Cornelis Meyer[2]) angab, gleicht dem Nicholsonschen Gewichtsaräometer dadurch, dass er unten ein Schälchen trug. Er ist indessen nichts anderes als eine Abänderung des Boyleschen Apparates (Fig. 235), das Schälchen sollte nur zur Aufnahme von Münzen dienen.

---

1) Boyle, Philosophical Transactions 1675. No. 24. S. 447 (abridged Vol. I. S. 516).

2) Nuovi ritrovamenti divisi in due parti Rom 1696. Vgl. Leupold, Theatrum universale. Pars II.

Das Pyknometer, welches Fig. 237 zur Anschauung bringt, hat 1699 Homberg angegeben[1]; es erlaubte genauere Bestimmungen zu machen, wie der Apparat Al Khâzinîs (Fig. 71). Es besteht aus einem Fläschchen mit weitem Halse und seitlichem kapillaren Rohre. Die Flüssigkeit wird soweit eingefüllt, dass sie gerade bis zur Spitze des Kapillarröhrchens reicht. Fahrenheit[2] hat zwei Pyknometer 1724 beschrieben, sie aber wohl früher

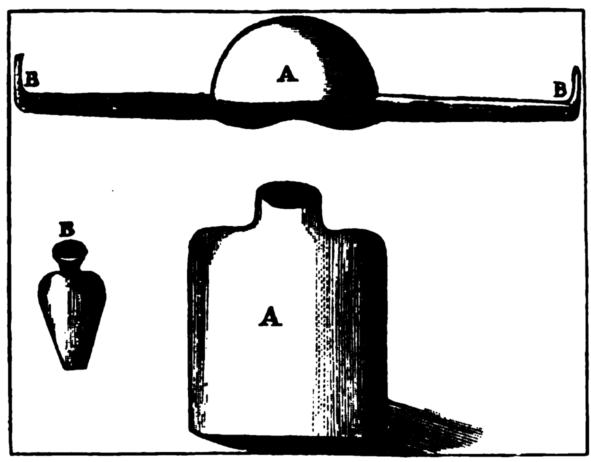


Fig. 238.

konstruiert. Die Fig. 238 zeigt ihre Einrichtung. Das eine besteht aus einer abgeplatteten Glaskugel mit zwei seitlichen kapillaren Röhrchen, welche bequem auf die Wagschale gelegt werden. konnte, das andere aus einem Fläschchen mit eingeriebenem Stöpsel, welches mit Flüssigkeit gefüllt werden konnte. Durch die Verbindung des Hombergschen mit dem zweiten Fahrenheitschen Instrument hat Geißler in neuerer Zeit bekanntlich seine genauen Pyknometer erhalten.

Die übrigen Forschungen um die Wende des 17. Jahrhunderts.

1. Hooke und das zusammengesetzte Mikroskop.

Wenn wir an den Anfang dieses Abschnittes den langjährigen Experimentator der Royal Society Robert Hooke (1635—1703) stellen, so berechtigen uns dazu eine Anzahl wichtiger experimenteller Arbeiten, die er ausführte. Ihn in höherem Grade aus der Zahl der gleichzeitigen Forscher herauszuheben, würde dagegen seiner Bedeutung nicht entsprechen. Wenn ihm freilich alle Erfindungen und Arbeiten, die man ihm und er wohl auch

1) Homberg, Mémoires de l'Académie Royale. 1699. S. 44.
2) Fahrenheit, Philosophical Transactions. T. XXXIII. No. 384. S. 140.

sich selbst zugeschrieben hat, gehörten, würden wir ihm allerdings eine andere Stelle anweisen müssen. Aber wir wissen jetzt, dass eine große Zahl derselben von ihm nicht herrühren. Sein bestimmtes Auftreten aber, die Sicherheit, mit der er sich die Ergebnisse der Untersuchungen anderer unbedenklich aneignete, verfehlten nicht auf seine Landsleute die Wirkung zu haben, dass sie ihn wirklich für das hielten, für was er sich ausgab. Andere freilich urteilten anders über ihn und es klingt nicht sehr anerkennend, wenn Huygens am 19. Februar 1665 an seinen Vater über ihn schreibt[1]: »Er versteht nichts von Geometrie, und macht sich lächerlich durch seine Eitelkeit. Ich verstehe sehr wohl seine Maschine, die ein übles Zeugnis für seine Kenntnis der Mechanik abgiebt.« Wenn sich Huygens Moray gegenüber auch vorsichtiger ausdrückt[2], so tadelt er auch gegen ihn die Kühnheit, mit der jener seine Hypothesen bildet und begreift u. a. nicht[3], dass Hooke, während er Ideen über die Farben vorträgt, welche denen Boyles sehr ähnlich sind, diesen nicht einmal erwähnt.

Die Maschine, welche Huygens in dem Briefe an seinen Vater erwähnt, hatte den Zweck, die Geschwindigkeit fallender Körper zu messen. Hooke that damit sehr geheimnisvoll und es dauerte lange, bis er sich endlich dazu verstand, Moray am 4. November 1664 seinen Plan mitzuteilen, den dieser sich beeilte am 11. November seinem Korrespondenten im Haag zu übermitteln[4]). Die diesem Briefe beigegebene Figur ist in Fig. 239 reproduziert. A ist ein hölzernes Rad, an dessen Achse das Pendel BC befestigt ist, welches Sekunden zählt, DE eine in D befestigte Feder, deren Ende E die Bewegung des Rades und des Pendels hemmen kann, wenn sie gegen den Kranz des Rades schlägt, FG ein Stück Holz, welches sich um einen Zapfen bei G dreht und bei F eine Öffnung hat, um hier eine den Versuchskörper tragende Schnur einzulegen. Der Stab FG trägt bei E einen Haken, der dazu dient, die Feder von A wegzudrücken. Um die Fallgeschwindigkeit einer Bleikugel zu untersuchen, wird sie an der

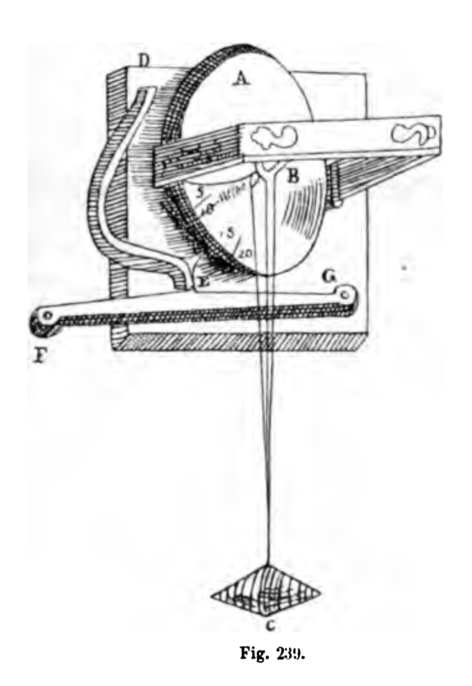


Fig. 239.

1) Huygens, Oeuvres complètes. V. S. 240.
2) Huygens, a. a. O. V. S. 282.
3) Huygens, a. a. O. V. S. 320.
4) Huygens, a. a. O. V. S. 141.

Schnur, diese an *F* befestigt und aus einer bestimmten Höhe fallen gelassen, während zugleich das aus seiner Ruhelage gehobene Pendel losgelassen wird. Ist die Kugel so weit gekommen, dass sie die Schnur anzieht, so reißt sie *E* von der Feder ab, diese schnellt gegen das Rad und arretiert es. Eine auf seinem Umfang angebrachte Teilung soll dann die Sekunden ablesen lassen.

Als Huygens zuerst von dem Plane Hookes, eine Fallmaschine zu bauen, hörte, regte ihn dies an, selbst eine solche zu entwerfen, die er am 29. August 1664, also ehe ihm der Hookesche bekannt wurde, Moray mitteilte. Er war nun sehr gespannt auf die Maschine Hookes; als er sie aber erhielt, sehr erstaunt, dass an ihr die Teilung auf dem Rade *A* vorhanden war, von der er geglaubt hatte, sie allein zu besitzen. Er fragt deshalb bei Moray an, wie sie Hooke erhalten habe. »Die Maschine«, sagt er[1]), »ist nicht vollständig, wenn man sie [die Teilung] nicht genau besitzt und es ist zu bemerken, dass man, um sie zu erhalten, ein bestimmtes Verhältnis der Zunahme der Geschwindigkeit voraussetzen muss, welches mit dieser Maschine zu erhalten und zu prüfen ist, das ist bei meiner Maschine anders«.

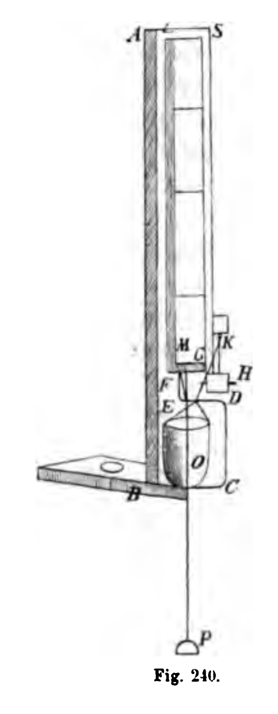


Fig. 240.

Die Zeichnung seiner Maschine, die er unter dem Datum des 29. August Moray übersandte, giebt in genauer Nachbildung Fig. 240. Er beschreibt sie folgendermaßen[2]): »*ABCDEFGS* ist ein Brett, aus welchem der Teil *DEFG* herausgeschnitten ist, das Pendel ist *HK*, welches ich sehr klein, etwa einen Zoll lang nehmen werde, damit es $\frac{1}{6}$ Sekunde angiebt. Das Gewicht dieses Pendels *H* ist von einem Stift oder einer Nadel durchbohrt. *ML* ist ein Papier- oder Pergamentstreifen, dessen Länge 3 oder 4 Fuß betragen muss und an welches unten der Faden *MG* befestigt ist, welcher frei durch das Bleigewicht *O* hindurchgeht und unten ein kleines Bleigewicht *P* trägt. Man lässt zu derselben Zeit das Gewicht *O* und das des Pendels *H* los, indem man einen an beide befestigten Faden durchschneidet, und wenn das Blei bis nach *B* fällt, welches man so tief setzen kann, als man will, zieht es den Papierstreifen *ML* mit herab. Dieser wird vorbeigehend von der einen oder anderen Seite einen Strich von der *H* durchbohrenden Nadel erhalten, welche man zu diesem Zwecke schwärzen muss. Man wird als genau erfahren, durch welchen Weg das Gewicht *O* in einer gewissen Zeit herabgefallen ist, da dieses durch die Zahl der

1) Huygens, a. a. O. V. S. 150. 2) Huygens, a. a. O. V. S. 108.

Schwingungen des Pendels NK angegeben wird«. Übrigens unterlässt Huygens nicht, hinzuzusetzen, dass er auch noch einen anderen Entwurf zur Bestimmung der Fallräume ausgedacht habe, der aber noch nicht durchgearbeitet sei. Es sei hier gleich erwähnt, dass 1719 Desaguiliers[1]) den Versuch machte, aus den beobachteten verschiedenen Fallzeiten zweier Körper im lufterfüllten Raum den Widerstand der Luft, den fallende Körper zu überwinden haben, zu bestimmen. Er ließ deshalb zwei verschieden große Kugeln von Blei und Holz von der Kuppel der Paulskirche herabfallen. Um sie gleichzeitig loszulassen, hatte er sie an dem nämlichen Seil befestigt, welches durchschnitten wurde.

Sollte Hookes Fallmaschine die Fallgesetze Galileis auf experimentellem Wege prüfen, so bezweckten die in Fig. 241 abgebildeten Apparate die Prüfung des Boyleschen Gesetzes. Der Apparat links ist bestimmt seine Giltigkeit für Drucke die kleiner, der rechts für solche, die größer sind wie der Atmosphärendruck, zu erweisen; bis in die neueste Zeit werden sie in physikalischen Vorlesungen zu demselben Zwecke verwendet. In jenem wurde das oben geschlossene Rohr AB mit Quecksilber gefüllt, mittels des aufgedrückten Fingers das offene Ende nach unten in das weitere Glasrohr DE, an dessen oberen Rand die Holzbüchse C gekittet war, unter das in die Büchse und das Rohr gegossene Quecksilber gebracht und der Finger weggenommen. Nachdem es genügend weit herabgesenkt war, wurde es bei A wieder geöffnet und etwas Luft hereingelassen, darauf wieder geschlossen und die Volumina AF, AG, AH u. s. w. bestimmt, die beim Heben des Rohres AB die eingeschlossene Luft einnahm. In dem Apparate rechts dagegen sperrte Hooke in dem kurzen oben geschlossenen Schenkel Luft ab, füllte in den oben offenen Schenkel AD immer mehr Quecksilber zu und beobachtete die Volumina, welche nun die immer mehr zusammengepresste Luft einnahm.

Diese Versuche teilt Hooke in seinem Hauptwerke mit, mit dessen sonstigem Inhalt sie nichts zu thun haben. Ist doch dieses, welches den Titel Micrographia[2]) trägt, der Mitteilung der vielen mikroskopischen Versuche, die der langjährige Sekretär der Royal Society anstellte, gewidmet und ausgestattet mit einer Reihe sehr schöner Kupfer. Sie geben Hookes mikroskopische Präparate wieder und ließen Huygens über die Mechanik und Geometrie, welcher man in allen Werken der Natur begegne, freudig erstaunen. Das Mikroskop, dessen sich Hooke bediente, war ein zusammengesetztes. Es ist in Fig. 242 im Durchschnitt abgebildet. Die Art seiner Aufstellung und den Beleuchtungsapparat zeigt Fig. 243. Da die von ihm untersuchten Gegenstände sämmtlich undurchsichtige waren, so beobachtete er im auffallenden Lichte. Als Lichtquelle diente eine nach unseren Begriffen höchst primitive Öllampe K, deren Strahlen eine mit

---

1) Desaguiliers, Philosophical Transactions. 1719. No. 362. S. 1071.
2) London. MDCLXVII.

Salzwasser gefüllte »Schusterkugel« *G* in Verbindung mit der Sammellinse *I* konzentrierte. Mikroskop und Beleuchtung ließen starke Vergrößerungen nicht zu und so werden wir denn den größten Mikroskopiker seiner Zeit, der gleichzeitig mit Hooke arbeitete, andere Apparate benutzen sehen.

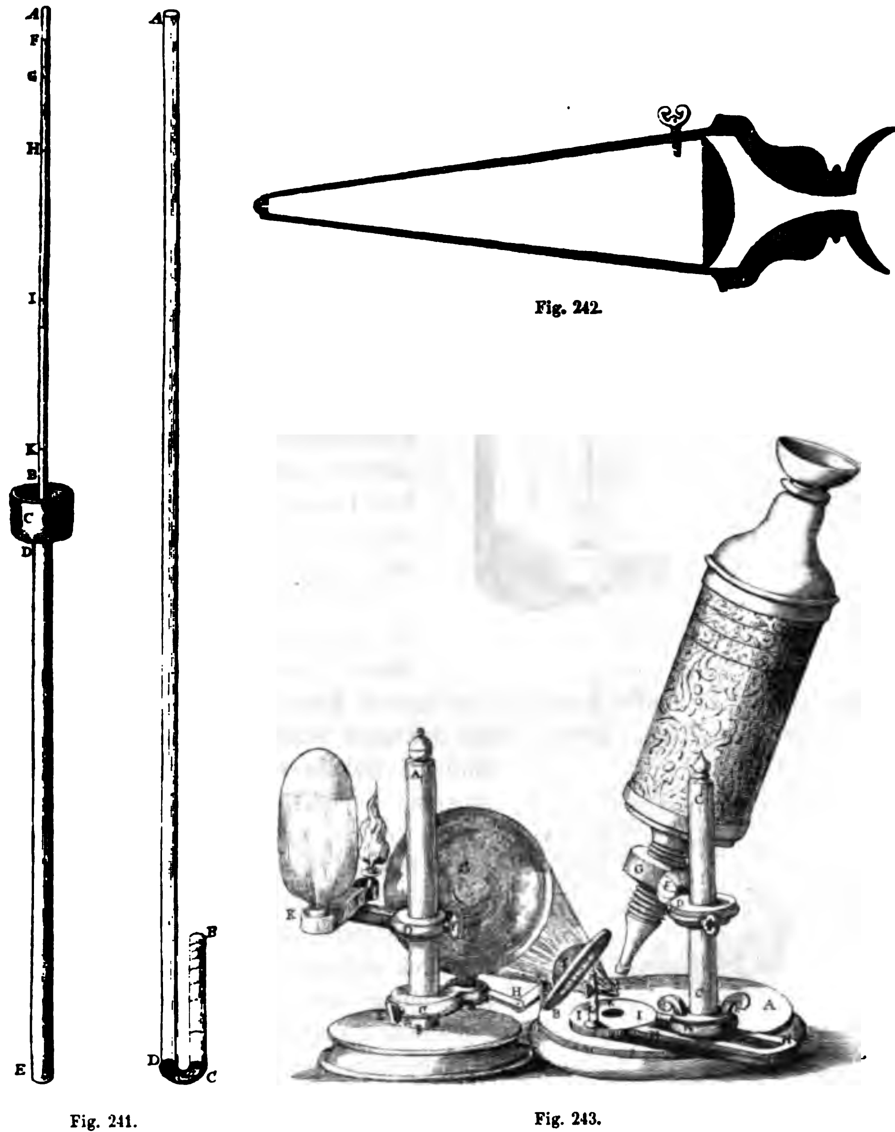


Fig. 241.

Fig. 242.

Fig. 243.

Die Herstellung guter Linsen war für die Brauchbarkeit des Mikroskops Lebensfrage. Den Apparat, mit dem sie erhalten werden können, giebt

nach der Vorrede der Mikrographie Fig. 244. Aus der von ihm gegebenen Beschreibung[1]) geht freilich nicht mit Sicherheit hervor, dass Hooke selbst ihn benutzt hat. Vielleicht stimmt er mit dem Campanischen überein. Zwei Bretter AB und OP, von denen das letztere geneigt zum ersteren aufgestellt werden kann, tragen mittels starker an ihnen befestigter Lagerplatten zwei Achsen OP und FG, die durch die Schnurläufe P und H in rasche Drehung versetzt werden können, zu deren Erleichterung sie mit ihren voneinander abgewandten Enden auf Spitzen laufen. Mittels der in der Nebenfigur gezeichneten Schraubzwinge M können beide eine passende Neigung zu einander erhalten. Die untere Achse trägt die Form K, die obere die Unterlage N, auf welche das abzuschleifende Glasstück Q mit Zement oder Leim befestigt wird. Die Form, deren Gestalt von der Brennweite der Linse abhängt, enthält Sand zum Abschleifen.

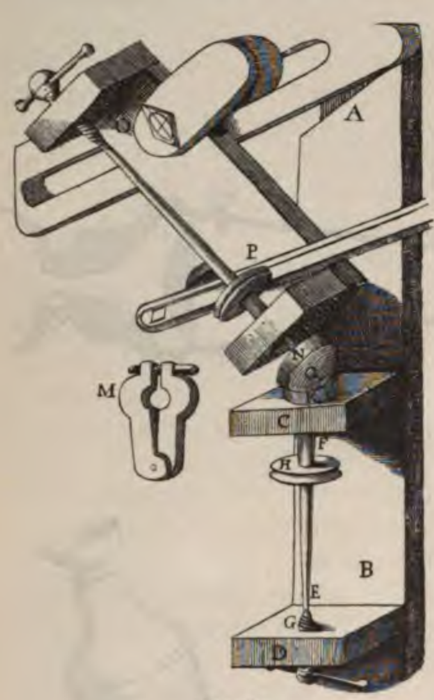


Fig. 244.

Um stärker brechende Linsen zu erhalten, dachte Hooke auch daran[2]), solche aus Flüssigkeiten herzustellen. Er hoffte dann mit geringeren Krümmungen die notwendige Brechung zu erzielen. Mittels einer Schraube wollte er auf eine Uhrglas ähnliche Schale eine planparallele Platte pressen, nachdem er den Hohlraum zwischen beiden mit Wasser, Terpentinöl, Alkohol oder Salzlösung gefüllt hatte.

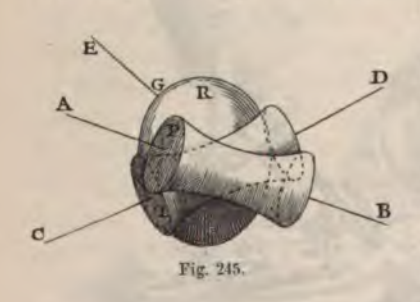


Fig. 245.

Suchte Hooke auf solche Weise weniger verzerrte Bilder zu erlangen, so schlugen andere vor, durch zweckmäßigere Krümmung der Linsen das nämliche zu erreichen. So wollte Hevel[3]) (1611—1687) Gläser von konischem Querschnitte in einer kugelförmigen Schüssel schleifen, und der berühmte Erbauer der

1) Hooke, Micrographia. 18. Seite des Preface.
2) Hooke, Philosophical Transaction[illegible] 1665/66. No. 12. S. 202.
3) Hevel, Philosoph[illegible]action[illegible] 6. S. 98.

Paulskirche Christopher Wren[1] (1632—1723) schlug vor, hyperbolische Gläser nach der durch Fig. 245 angegebenen Idee zu schleifen. »Es seien«, erläutert er dieselbe, »*P*, *Q*, *R* drei Körper, welche aneinander gleiten können, von denen *P* und *Q* gleich und von Säulenform sind, *R* aber die Form eines linsenförmigen Körpers besitzt. *P* soll um eine Axe *AB*, *Q* um *CD* und *R* um *EG* rotieren«. Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass nach dieser Idee nie Linsen geschliffen worden sind.

2. Die Royal Society und die Wetter- und Meerestiefen-Beobachtungen.

Im Auftrage der Royal Society, die beschlossen hatte, an den verschiedensten Orten gleichzeitige Beobachtungen der meteorologischen Elemente, der Lufttemperatur, des Luftdruckes, der Luftfeuchtigkeit, der Windrichtung und Windstärke und der Regenmenge anstellen zu lassen, konstruierte Hooke ein Thermometer, ein Barometer und ein Hygrometer; doch sind seine Konstruktionen durchaus nicht originell. Auf den falschen Weg, den er bei Herstellung des Thermometers dadurch einschlug, dass er übermäßig große Abmessungen nahm, haben wir bereits bei den Arbeiten von Huygens über denselben Gegenstand hingewiesen, auch darauf aufmerksam gemacht, dass sein Radbarometer[2]) nichts anderes ist, als Guerickes Apparat zur Beobachtung des Luftdruckes für Quecksilber abgeändert. Da es aber von der Royal Society zu ausgebreiteter Verwendung kam, auch noch bis in unsere Tage zu Ablesungen des Luftdruckes benutzt wird, so haben wir es in Fig. 246 abzubilden für nötig befunden. Der Leser erinnert sich, dass auf dem kurzen Schenkel des Barometerrohres sich ein Schwimmer,

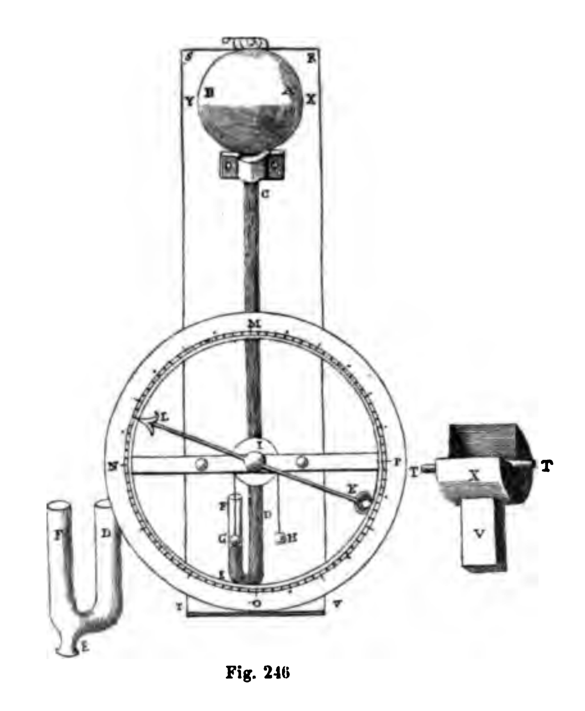


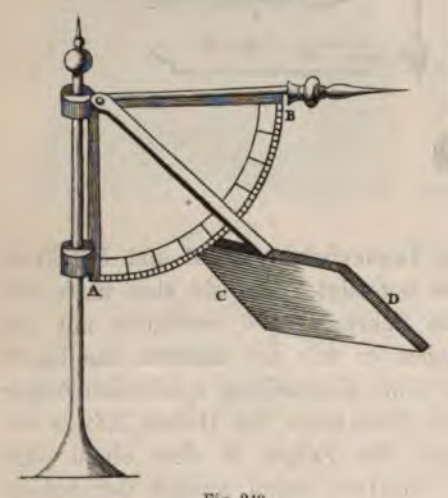
Fig. 246

1) Wren, Philosophical Transactions. 1668. No. 53. S. 1059.

2) Hooke, Micrographia. Preface. 10. Seite.

Molyneux[1]) (1656—1698) wurde der Schöpfer der Hygrometer, die um ihrer Einfachheit willen noch jetzt gern hergestellt werden. Er befestigte an einer gewöhnlichen Peitschenschnur eine Kugel und hing die erstere mit einem Ende auf. Die Kugel trug einen über einer Teilung spielenden Zeiger, der, je nachdem durch Feucht- oder Trockenwerden die Schnur sich mehr zu- und aufdrehte, sich hin und her bewegte und so über den Zustand der Luftfeuchtigkeit ein Urteil gestattete. Dadurch, dass Desaguiliers[2]) anstatt der Kugel einen Metallstab nahm, dessen beide Enden über der Skala schwebten, gab er das Vorbild für die bis heute gern benutzten Wetterhäuschen. Teuber beobachtete die Längenänderung des Hanfseiles, die mit der Drehung verbunden ist, und endlich schloss man auf die Luftfeuchtigkeit aus der Verlängerung oder Verkürzung einer Darmsaite. Hygrometer dieser Art waren seit 1676 in Dresden im Gebrauche.

Die Apparate zur Beobachtung des Windes und Regens, welche die Royal Society benutzen wollte, zeigen Figg. 249 und 250. Der erstere ließ



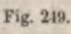

Fig. 249.



Fig. 250.

nicht nur durch die Stellung, die die Windfahne annahm, die Richtung, sondern auch durch den Winkel, bis zu welchem die Platte CD gehoben wurde und welcher am Gradbogen AB abgelesen werden konnte, die Stärke des Windes erkennen[3]). Das Ombrometer, das seit 1695 im Gresham College verwendet wurde[4]), bestand aus dem zwei Gallonen fassenden Trichter F und der Flasche E, der er aufgesetzt war. Die an den Stangen I und K

1) Molyneux, Philosophical Transactions. 1685. No. 172. S. 1032. Acta Eruditorum. 1686. S. 388.
2) Desaguiliers, A course of Experimental Philosophy. Holländ. Übers. S. 385.
3) Philosophical Transactions. 1667. Vol. I. No. 24. S. 438.
4) Philosophical Transactions. 1695/96. No. 223. S. 357.

hängenden Gewichte L und M hatten den Zweck, den Trichter gegen den Wind aufrecht zu halten.

Die damals schon in hoher Blüte stehende Schiffahrt der Engländer ermöglichte der gelehrten Gesellschaft die Aufgaben, die sie durch korrespondierende meteorologische Beobachtungen sich gestellt hatte, zu erweitern. Nicht nur dass solche den Schiffskapitänen aufgegeben wurden, es wurde ihnen auch zur Pflicht gemacht, die Deklination und Inklination der Magnetnadel, sowie die Tiefen der Oceane zu bestimmen, ja aus solchen Tiefen Wasserproben heraufzuholen und zur Untersuchung einzuliefern[1]). Das ihnen mitgegebene Bathometer sehen wir in Fig. 251. Es bestand aus der Holzkugel A, an welcher die Bleikugel D oder statt ihrer ein Stein so angebracht war, dass beim Aufstoßen auf den Meeresgrund D sich löste und A wieder emporstieg. Die Zeit, die von ihrem Verschwinden bis zu ihrem Wiedererscheinen verfloss, wurde der Bestimmung der Tiefe zu Grunde gelegt. Um D sicher auszulösen, war an A der Bügel B befestigt, in den mittels des federnden, gegen A gelegten Drahtes C der D tragende Bügel E eingehängt wurde. Die aufstoßende Kugel D ließ C von A abgleiten und machte so A frei.



Fig. 251.

Zum Zwecke der Tiefenmessung schlug 1728 Hales[2]) ein Manometer vor, eine mit Luft zum Teil gefüllte, durch Quecksilber abgesperrte Röhre, die in einem dem Wasser zugänglichen Gefäße in das Meer versenkt wurde und so lange sich nach unten bewegte, bis ein Gewicht beim Aufstoßen auf den Grund sich ablöste. Das Gefäß mit dem Manometer stieg dann wieder empor und etwas Sirup oder Honig, welches auf das Quecksilber ins innere Rohr gebracht war, zeigte den höchsten Stand an, den es erreicht hatte. Da aber die Temperaturänderung der Luft unberücksichtigt blieb, so konnte der Apparat genaue Ergebnisse nicht liefern.

Die Art, wie aus der Tiefe eine Wasserprobe entnommen werden sollte[3]), lässt Fig. 252, S. 266, erkennen. Der Bügel B wird bei F an einem Tau befestigt und trägt bei A ein Gewicht. Der mit dem Bügel beweglich verbundene Kasten hat beim Versenken die Stellung C gegen den Bügel, beim Emporsteigen die Lage G. Er hat oben und unten je einen Deckel E, von denen jeder mit einem drehbaren Tragarme des Kastens B verbunden ist. Bewegt sich der Bügel mit dem Kasten nach unten, so drängt den

1) Philosophical Transactions. 1667. Vol. I. No. 24. S. 438.
2) Hales, Philosophical Transactions. 1727/28. Vol. 35. No. 405. S. 559.
3) Philosophical Transactions. 1667. Vol. I. No. 24. S. 438.

letzteren der Widerstand des Wassers in die Stellung C, wird er wieder emporgezogen, so drängt ihn das Wasser in die Stellung G und schließt dabei die Deckel. Die Länge des abgewickelten Taues F giebt die Tiefe an, aus der die Wasserprobe stammt.

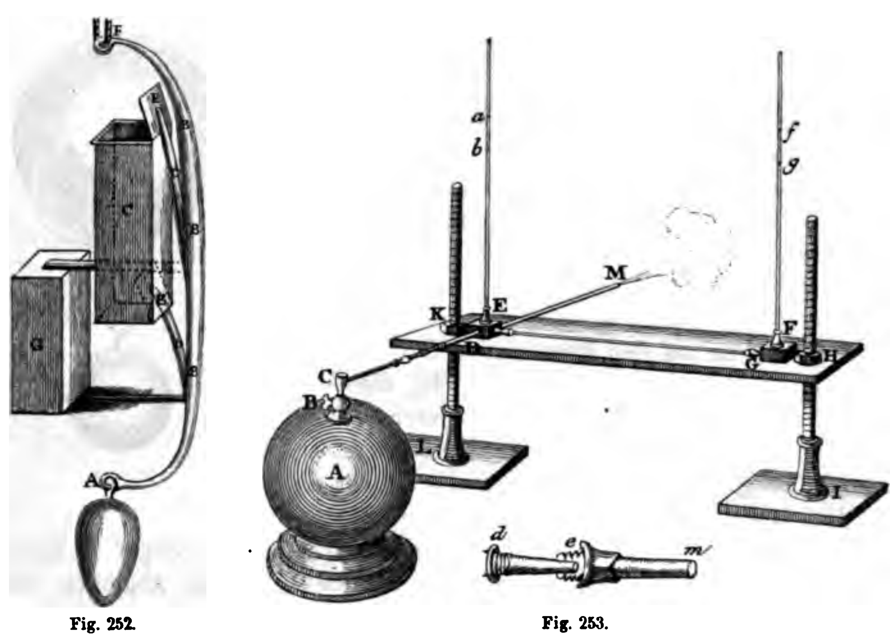


Fig. 252. Fig. 253.

Das reiche, so einlaufende Material regte zu mannigfachen Arbeiten im Schoße der Royal Society an. Für uns ist davon der Versuch Hawksbees[1]) (gest. um 1713) von Interesse, mit dessen Hilfe er zu erklären versuchte, warum das Barometer vor und während eines Sturmes stark fällt. Den zu diesem Zwecke konstruierten Apparat führt uns Fig. 253 vor. In der kupfernen Kugel A wurde Luft zusammengepresst, dann der Hahn B geöffnet. Die Luft entwich nun durch M, nachdem sie über das Quecksilber im abgeschlossenen Gefäße des Barometers gegangen war, welches durch das Rohr DG mit dem ebenfalls abgeschlossenen Barometergefäße F in Verbindung stand. Das Quecksilber in den Rohren beider Barometer fiel dann um die gleichen Stücke ab und fg, und Hawksbee glaubte aus dieser Beobachtung schließen zu müssen, dass die horizontale Bewegung der Luft den senkrechten Druck vermindern könne. Dass dieser Schluss jedoch unberechtigt sei, wies Desaguiliers[2]) zwar nach, gab aber eine ebenso haltlose Erklärung der Erscheinung.

1) Hawksbee, Philosophical Transactions. 1704. Desaguiliers, a. a. O. II. S. 344 Anmerkung.

2) Desaguiliers, a. a. O. II. S. 344 Anmerkung.

3. Mariotte, Bernoulli und Sturm. Gewicht der Luft und magnetische Beobachtungen.

Mariotte (gest. 1684) ist auf den verschiedensten Gebieten der Physik schaffend thätig gewesen. Das Gesetz zwar, was seinen Namen am meisten berühmt gemacht hat, hatte bereits vor ihm **Boyle** gefunden, in weiteren Kreisen bekannt wurde es erst durch **Mariottes** Arbeiten. Weder dieses, noch seine experimentelle Bestimmung des Gesetzes, welches die Höhe des Strahles eines Springbrunnens regelt, giebt uns hier zu weiteren Erörterungen Veranlassung. Auch über seine Arbeiten über die Natur der Farben können wir hinweggehen. Uns beschäftigt hier nur sein Niveau und seine Beobachtungen am Auge.

Sein Niveau bestand, wie Fig. 254 zeigt[1]), aus einer Rinne *ABCD* von 4 bis 5 Zoll Breite, welche auf zwei Seiten mit 2 bis 3 Zoll hohen

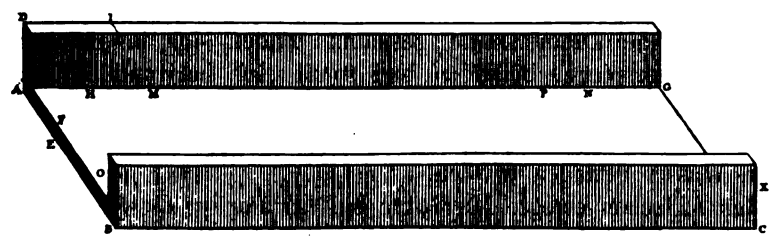


Fig. 254.

Rändern versehen war. Ihr Inneres *FG* war in der Richtung ihrer Breite von *H* bis *M* und *N* bis *P* mit Wachs so bestrichen, dass, wie Fig. 255

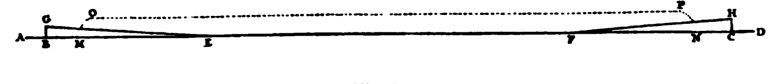


Fig. 255.

zeigt, der Überzug eine den Rücken nach außen kehrende Keilform besitzt. Zwischen beide Wachsschichten gegossenes Wasser wird demnach die Form *OP* (Fig. 255) annehmen, und es lässt sich leicht, wenn die Rinne nicht entsprechend horizontal liegt, ihr durch untergeschobene Keile eine solche Lage geben, dass die Punkte *O* und *P* gleich hoch über die Wachskeile *GE* und *FH* hervorragen.

Um nun mit Hilfe dieses Niveaus zwei Punkte, zu finden, welche in einer Entfernung von etwa 200 Fuß voneinander in derselben Horizontale liegen, stellt man das Instrument etwa in der Mitte der Verbindungslinie beider auf, schneidet ein etwa 12 Zoll langes rechteckiges Stück Papier oder Karton *ABCD*, Fig. 256, aus und zieht in dessen Mitte in einem Abstande von 2 bis 3 Zoll

Fig. 256.

1) Mariotte, Oeuvres Leyde 1717. Vol. II. Traité du Nivellement. S. 538.

die 2 bis 3 Linien breiten schwarzen Streifen *EF* und *GH* parallel *AB*. Diesen Karton bringt man dann in den Abstand, in dem der eine jener beiden Punkte liegen soll und stellt die Marken *EF* und *GH* horizontal, indem man den Kartonstreifen so lange hebt und senkt, bis das etwa ½ Fuß von der Wasserfläche des Niveaus entfernte Auge, über sie hinblickend, drei Marken sieht, die obere, die untere und das Spiegelbild der unteren. Hat dieses Bild alsdann den gleichen Abstand von der unteren Marke, wie diese von der oberen, so liegt die untere Marke in der verlängerten, durch die Wasseroberfläche gegebenen horizontalen Ebene. Gerade so verfährt man dann mit dem zweiten Punkte.

Leupold und noch 1748 Paricieux haben Mariottes Wasserwage zu verbessern gesucht. Der Leipziger Mechaniker[1]) legte über einen mit Wasser bis zu einer gewissen Höhe gefüllten Trog ein Messinglineal mit zwei Dioptern, welches auf geteilten Messingträgern ruhte. Einer dieser Träger war in lotrechter Richtung verschiebbar und wurde so eingestellt, dass zwei vor die Diopterspalte gespannte Fäden sich in gleicher Höhe über dem Wasserspiegel befanden und somit eine horizontale Ebene bestimmten. Paricieux[2]) legte das Diopterlineal direkt auf zwei Schwimmer, welche von dem in den beiden Schenkeln eines kommunizierenden Rohres gefüllten Wasser getragen wurden.

Großes Aufsehen erregte Mariotte bei der Pariser Gesellschaft, als er gelegentlich seiner Studien über den Gesichtssinn[3]) den blinden Fleck im Auge entdeckte und den bekannten Versuch angab, mit dessen Hilfe sein Dasein leicht erwiesen werden kann. Seine Abbildung des Augenhintergrundes giebt Fig. 257, wo *ae* die Eintrittsstelle des Sehnerven (basis nervi optici), *E* den Punkt, in welchem die Sehachse die Netzhaut schneidet, bedeutet, *edc* und *aib* aber Blutgefäße darstellen.

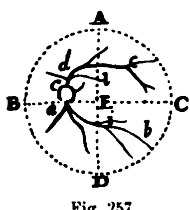


Fig. 257.

Während Mariotte die Richtigkeit des Boyleschen Gesetzes bestätigt hatte, suchte Jacob Bernoulli (1654—1705) die Methode, nach der der englische Gelehrte das Gewicht der Luft bestimmt hatte, die wir auf S. 135 vorgeführt haben, zu verbessern. Er fand es zunächst für nötig[4]), die von Aristoteles angegebene Methode zur Bestimmung des Gewichtes der Luft, einen Schlauch erst leer und dann mit Luft gefüllt zu wiegen, zurückzuweisen. Hatte doch noch Riccioli (1598—1671) 1651 in seinem Almagestum novum (Lib. II cap. 5) sich der Methode des Stagiriten bedienen

1) Leupold, Theatrum machinarum Hydrostaticarum. S. 36. Taf. III. Fig. IV.

2) Paricieux, Mémoires de l'Académie Royale. 1748. S. 13.

3) Mariotte, Oeuvres. T. II. S. 527. Lettres écrits sur le sujet d'une nouvelle découverte touchant la vue. Lateinisch in Acta Eruditorum. 1683. S. 67.

4) Bernoulli, Examen ponderationis aeris per vesicam. Acta Eruditorum. 1685. S. 436.

zu können geglaubt, indem er nur anstatt des Schlauches eine Ochsenblase nahm. Er beobachtete nach deren Aufblasen eine Gewichtsvermehrung, die aber wohl einer eingetretenen Verdichtung der Luft zuzuschreiben war[1]. Dass auf solche Weise das Gewicht der Luft nicht erhalten werden konnte, hatte Boyle bereits eingesehen. Aber auch dessen Versuche fand Bernoulli unzureichend, da einmal immer noch etwas Luft in den Kugeln zurückbleibe und da sodann das Gewicht der Luft gegen das des Glases viel zu klein sei, als dass man ein genaues Resultat erwarten könnte. Er hielt[2] deshalb die Anwendung eines viel größeren Gefäßes für geboten. Seinen Apparat zeigt Fig. 258. *A* ist ein Rezipient von ausreichender Größe, welcher oben mit einem Hahne *B* versehen ist und mittels dreier seidener Fäden, die an den Ansätzen *aa* befestigt werden, an den Arm einer empfindlichen Wage *H* gehängt werden kann. Er ist mit dem eisernen Ringe *D* und den ebenfalls eisernen Bändern *EE* umgeben, welche unten umgebogen sind, um in den so erhaltenen Ring die Schale *F* zu hängen. Sie wird mit so viel Gewichten beschwert, dass, wenn *A* an die Wage gehängt und das Fass *G* mit Wasser gefüllt wird, einige wenige auf die Schale *H* gelegte Gewichtsstücke genügen, um das Gleichgewicht herzustellen. *A* kann nun an den Hahn *C* gehoben und durch ihn und das Rohr *K* mit der Luftpumpe *I* in Verbindung gesetzt werden. Nachdem alsdann der Rezipient soviel wie möglich ausgepumpt worden ist, wird *B* geschlossen, *A* von *C* abgenommen und wieder in das Wasser herabgelassen. Die zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes von der Wagschale *H* abzunehmenden Gewichte geben dann das Gewicht der ausgepumpten Luft. Um nun auch den Raum zu bestimmen, den sie einnahm, tauchte Bernoulli den Rezipienten, den Hahn nach unten, in Wasser und ließ durch Öffnen des Hahnes so viel davon eintreten, dass es innen und außen gleich hoch stand, schloß darauf



Fig. 258.

1) Vgl. Gehler, Physik. Lexikon. Neu bearb. Bd. VI. S. 1199. Auch Fischer, Geschichte der Physik. Bd. I. S. 423 und Poggendorff, Geschichte der Physik. S. 294.

2) Bernoulli, Nova ratio aëris ponderandi. Excerpta ex Ephemeridibus Parisiensibus 31. Juli 1684 traducta. Acta Eruditorum. 1685. S. 433.

den Hahn wieder und wog den Rezipienten mit dem in ihn eingetretenen Wasser. So erhielt Bernoulli viel genauere Resultate wie seine Vorgänger, freilich nur für die Temperatur des verwendeten Wassers, über die er aber keine Angaben macht.

Wie in England und Italien, so war man auch in Deutschland darauf bedacht, durch gleichzeitige Beobachtungen, die an verschiedenen Orten angestellt wurden, die Kenntnisse von den Vorgängen im Luftkreise und am Erdkörper zu erweitern. Namentlich war es Sturm in Altorf, der bereits 1682 zu magnetischen Beobachtungen aufforderte. Gilbert hatte die Untersuchungen über den Erdmagnetismus der wissenschaftlichen Behandlung zugänglich gemacht, nun war man bestrebt, die Ursache der wunderbaren Regelmäßigkeit der Variation, wie man die Deklination der Magnetnadel damals nannte, aufzufinden. Dazu müsse man, meinte Sturm[1]), mäßig große, leicht bewegliche Nadeln haben, die über recht genauen Teilungen spielten, wie sie Volckamer (1616—1693) zu seinen in Nürnberg angestellten Variationsbeobachtungen verwendet hatte. Die beste Zeit für solche Beobachtungen sei die in der Nähe der Äquinoktien und des Sommersolstitiums. Doch müsse dazu der astronomische Meridian sehr genau bestimmt werden, womöglich mit zuverlässigen Quadranten, jedenfalls mit größeren Instrumenten.

Drei Jahre später führte Sturm[2]) einen 1683 von Hautefeuille[3]) gemachten Vorschlag aus, um die Deklination in Altorf zu bestimmen. Er setzte zwischen das Okular und das Objektiv eines Fernrohres einen Ring mit einem senkrecht aufgespannten Seidenfaden und vor diesen eine auf einer Messingnadel mit ihrem Hütchen schwebende Magnetnadel, deren eine Spitze sich in ganz geringer Entfernung von dem Faden bewegte. Das Okular stellte er so ein, dass der Faden und demgemäß auch die Spitze der Nadel scharf erschien, und rückte das Objektiv in solchen Abstand, dass entfernte Gegenstände ebenfalls deutlich gesehen werden konnten. Darauf drehte er das Fernrohr so lange, bis die Spitze der Nadel genau auf den Faden wies und ließ dann von einem Gehilfen eine Signalstange C (Fig. 259) so aufstellen, dass deren Bild mit dem Faden zusammenfiel. Eine zweite solche Stange B ließ er in die vorher bestimmte Richtung des Meridians setzen und maß nun die Abstände $AB = 32' \, 8'' \, 2'''$, $AC = 36' \, 1'' \, 2'''$ und $BC = 7' \, 4'' \, 0'''$, woraus sich die Deklination für Altorf zu $10^\circ \, 5' \, 7''$ westlich berechnete.

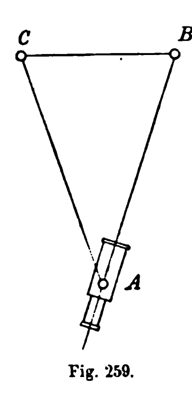


Fig. 259.

1) Sturmius, Acta Eruditorum. 1682. S. 258.
2) Sturmius, Acta Eruditorum. 1685. S. 527.
3) Hautefeuille, Nouvel moyen de trouver la déclinaison de l'aiguille aimantée avec une grande précision. Paris 1683.

Weniger genaue Resultate waren mit der Methode von Teuber[1]) zu erhalten, bei der nur Lineale und Kreisbögen zur Verwendung kamen. Einen eigenartigen Apparat aber wollen wir gleich hier erwähnen, wenn er auch erst 1710 konstruiert worden ist, da er ein helles Schlaglicht auf die Art wirft, wie man die Deklination und ihre Änderungen damals auffasste. Er ist von Zumbach von Koesfeld (1661—1727) erdacht aber erst in neuester Zeit bekannt gegeben und bezweckt die Herstellung einer Magnetnadel, welche sich nicht in den magnetischen, sondern in den astronomischen Meridian einstellen soll. Wie dies gemacht werden sollte, zeigt die in Fig. 260 gegebene Abbildung des Apparates, wie er sich im Königlichen Museum zu Kassel befindet. Die folgende handschriftliche Notiz liegt ihm bei: »Diese Magnet Nadelen[2]) können also bereittet werden, dass sie aller Orten der Welt sich nach dem Wahren Norden hinzu wenden, Wan man zu Vor die Declination des magneten solchess Ortz Weiß, und die beyde Schwänze der Magnet Nadel also und Viel Von einander scheidet oder eröffnet, bis sich die Spitze zu dem rechten Norden hinwendet. Inventiret durch Lotharium Zumbach d. Koesfeld M. D. et Math. prof. Cassel Anno 1710.« Es ist dies dadurch erreicht, dass die Nadeln, die die Figur in der Ansicht und im Schnitte darstellt, aus je drei Teilen bestehen, welche in der Mitte bei a um eine Achse drehbar miteinander verbunden sind. Diese Achse bildet ein auf einer Spitze schwebendes Messinghütchen, mit welchem ein der Südhälfte der Nadel gleichgerichtetes Messingstäbchen ab starr verbunden ist, während ihre Süd- und Nordhälften ac und ad mit zwei übereinander liegenden Ringen auf einer cylinderförmigen Verlängerung des Hutes drehbar befestigt sind. Schiebt man ab und ac so übereinander, dass beide in die Richtung ad fallen und lässt die Nadel frei, so stellt sie sich in den magnetischen Meridian, durch Auseinanderschieben der Stäbchen lässt sich dann erreichen, dass sie gerade nach Norden zeigt. Ein verschiebbares Gegengewicht e lässt sich so stellen, dass die Nadel bei jeder Verschiebung von ab und ac wagrecht bleibt.

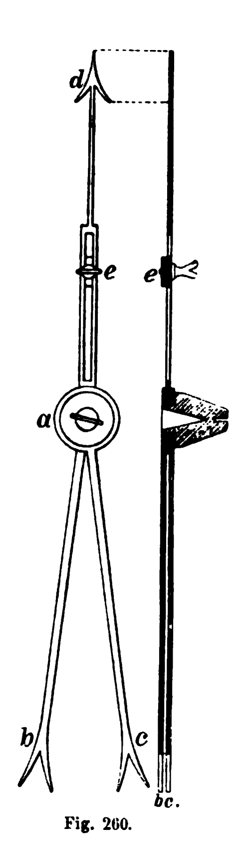


Fig. 260.

1) Teuber, Acta Eruditorum. 1686. S. 125.

2) Cöster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Königl. Museum zu Kassel. Kassel 1878. S. 43.

4. Leeuwenhoek und das einfache Mikroskop.

Die Entwickelung des Mikroskopes hat einen anderen Weg eingeschlagen, als man nach dem Aufsehen, welches Hookes Mikrographie erregte, hätte erwarten sollen. Das zusammengesetzte Mikroskop wurde durch das einfache wieder verdrängt. Zwar hatte Divini[1]) bereits 1668 jenes mit einem aus zwei plankonvexen Linsen bestehenden Okular versehen, welches die Gegenstände flach, anstatt gekrümmt sehen ließ, oder wie wir heute sagen würden, die sphärische Aberration sehr verringerte, zwar hatte 1686 ihm Campani[2]) die in Fig. 261 abgebildete bequeme Form gegeben, die die Einstellung durch Drehung des mit Schraubengewinde versehenen Instrumentes in seinem Halter möglich machte, aber der Mann, der die ersten mikroskopischen Beobachtungen mehr im modernen Sinne gemacht hatte, Antony van Leeuwenhoek[3]) (1632—1723), hatte mit dem einfachen Mikroskop gearbeitet und dadurch die Richtung bestimmt, in der sich während eines Jahrhunderts die Mikroskopie fortentwickelte. Sein sehr kleiner handlicher Apparat, den Fig. 262 in den drei Ansichten etwa in halber Größe zeigt, bot allerdings die Vorteile, dass die Linse vom Beobachter selbst geschliffen oder durch ein in das Loch einer Messingplatte fallen gelassenes Tröpfchen geschmolzenen Glases, ja sogar Wassers erhalten werden konnte. Auf solche Weise hatten übrigens auch Hooke[4]) und Hartsoeker[5]) Linsen von starker Vergrößerung hergestellt. Mit diesen Mikroskopen ließ sich aber nur im durchfallenden Lichte beobachten und es war sehr beschwerlich, dass das Gesichtsfeld sehr klein war und die Bilder infolge der überaus starken Krümmung der fast kugelförmigen Linse, nur in seiner Mitte nicht verzerrt waren. Trotzdem gelang es dem

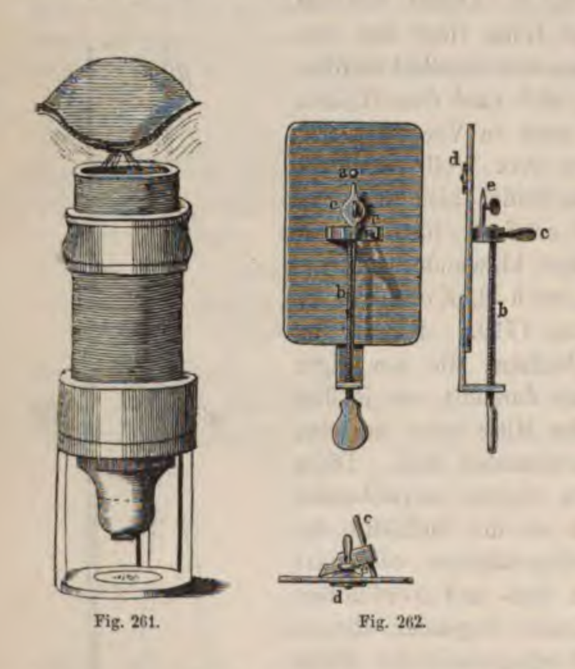


Fig. 261. Fig. 262.

1) Philosophical Transactions. 1668. No. 42. S. 842.

2) Campani, Acta Eruditorum. 1686. S. 371.

3) Leeuwenhoek, Brieven geschreven aan verscheide hooge Standspersonen en geleerde Lieden. Delft 1696.

4) Hooke, Micrographia. Preface.

5) Hartsoeker, Essai de dioptrique.

Delfter Forscher, den Blutumlauf in den Füßen von Fröschen oder Flossen von Fischen, die Spermatozoen zu sehen, den Bau der Gehirnteile, die Teile des Auges zu untersuchen. Die Linsen schliff er sich selbst und hat nicht weniger wie 419 Linsen und 247 Mikroskope verfertigt. Bei seinem Mikroskop befindet sich die Linse bei *a* und ist in der Metallplatte mittels des aufgelegten Plättchens *d* befestigt. Das Schräubchen *b* bewirkt die Verschiebung des Objektträgers der Spitze *e* parallel, das Schräubchen *c* ihre Verschiebung senkrecht zur Platte. Zur Erleuchtung opaker Gegenstände benutzte Leeuwenhoek einen Hohlspiegel; als Mikrometer nahm er Sandkörner, von denen er einigermaßen willkürlich eine gewisse Zahl auf einen Zoll rechnete und mit ihnen den beobachteten Gegenstand verglich.

Die Mikroskope mit kugelförmigen Linsen waren für eine geraume Zeit die am häufigsten angewendeten. Man überbot sich in Abänderungen ihrer mechanischen Teile, an den optischen änderte man nichts. Bei einer Reihe dieser Mikroskope, so dem von Wilson (Fig. 263)[1]), von Hartsoeker u. a. war die Linse in einem mit Gewinde versehenen Gehäuse, welches wie bei dem Campanischen Mikroskop durch Drehen dem Objekte genähert oder von ihm entfernt werden



Fig. 263.



Fig. 264.

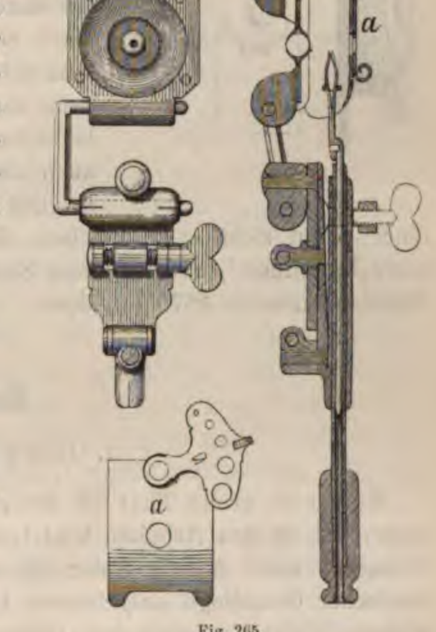


Fig. 265.

konnte, enthalten. Stephen Gray benutzte in seinem in Fig. 264 dargestellten Mikroskop als Linse ein kugeliges Wassertröpfchen. Er wollte das Objekt an die verschiebbare Spitze *F* befestigen, andere, wie Wilson ließen es durch ein Blatt oder eine Spiralfeder halten.

Aus der Menge der konstruierten und zum Teil auch noch in einzelnen Exemplaren erhaltenen einfachen Mikroskope greifen wir noch zwei heraus, die ein besonderes Interesse haben dürften. Zunächst das in Fig. 265 in Ansicht

1) Philosophical Transactions. 1700 Abridged. S. 199. Vol. IV. Plate 4. Fig. 72.

und Schnitt dargestellte, durch vorzügliche Arbeit ausgezeichnete Mikroskop von Jan van Musschenbroek[1])! Mit einer Schraube kann die richtige Einstellung des Objektes erreicht werden. Der durch eine Pincette gehaltene Gegenstand wird in eine kleine überschiebbare dunkle Kammer, die links unten besonders abgebildet ist, gestellt, und so störende seitliche Beleuchtung abgehalten, während durch die Öffnung *a*, deren Größe durch einen Schieber mit Diaphragmen in der dem einzelnen Fall angemessenen Weise abgeändert werden kann, das zur durchfallenden Beleuchtung nötige Licht eintritt. Der Linsenhalter ist auf den einen Arm eines ⊏-förmigen Trägers gesteckt, so dass der Linse jede gewünschte Stellung gegeben werden kann. Dem in Fig. 266 dargestellten Mikroskope, welches dem von Leutmann (1667—1736) ähnlich ist, fehlt eine Vorrichtung, die Linse und das Objekt gegen einander zu verstellen. Es muss das durch Verschieben des Objektes auf dem durch eine Geradführung zu hebenden und zu senkenden Tisch geschehen. In ähnlicher Weise kann die Linse gehoben und gesenkt werden. Direktes Sonnenlicht verwendete man wohl auch als Lichtquelle und erhielt, da es mit ihm möglich war die vergrößerten Gegenstände auf einer Wand sichtbar zu machen, das Sonnenmikroskop. Nach Kästners Mitteilung[2]) hat es zuerst Samuel Reyher (1635—1714) in seiner Mathesis mosaïca 1679 erwähnt.

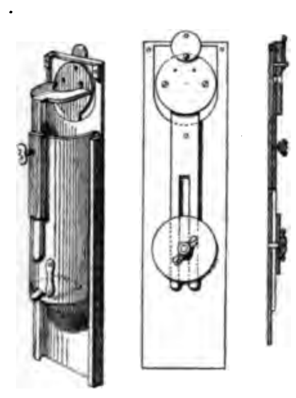


Fig. 266.

Newton.

1. Die Farbenlehre.

Newtons große That ist die Zusammenfassung der Forschungsergebnisse, die in den Arbeiten Galileis, Kepplers, Huygens' und anderer vorlagen, unter Annahme der allgemeinen Gravitation zu der auf mathematischer Grundlage aufgebauten Darstellung der Mechanik. Diese Darstellung bildet den Inhalt der »Philosophiae naturalis principia mathematica«, ein Werk, welches, da es die zur Zeit noch offenen Fragen der Naturlehre zu beantworten schien, die Bewunderung der Zeitgenossen und in noch höherem Grade diejenige derer, die nach ihm kamen, erregte. Ja, auch jetzt noch ist man vielfach geneigt, gestützt auf die Principia Newtons Leistungen nur mit ihnen selbst vergleichbar zu finden.

---

1) Cöster und Gerland, Beschreibung u. s. w. S. 45.

2) Kästner, Geschichte des Sonnenmikroskops in Bernoullis und Hindenburgs Leipziger Magazin für angewandte Mathematik 1786. S. 405. Fischer, Physikalisches Wörterbuch. IV. Göttingen 1801. S. 687.

Wird man nun eine derartige Behauptung über Newtons andere Arbeiten nicht aufstellen können, so erhebt sich auch gegen die lediglich mathematisch formulierte Schwerkraft immer stärkere Opposition und die Versuche mehren sich, die ihre Wirkungen, wie sie bereits Galilei sich dachte, als an ein Medium irgend welcher Art gebunden nachzuweisen suchen. Es ist allerdings richtig, dass Newton die Annahme einer Wirkung der Schwerkraft in die Ferne im Verkehr mit Freunden von sich abgewiesen hat, dass er nie behauptete, dass sie so wirkte, sondern nur dass man ihre Wirkungen so auffassen könnte. Aber es lag auf der Hand, dass man dabei nicht blieb, sondern sich berechtigt fühlte, die Konsequenzen aus der Lehre des Meisters, die keine Dunkelheit mehr zu lassen schien, vollständig zu ziehen. Wie groß auch einerseits der Fortschritt war, den die Naturwissenschaft Newtons Prinzipien verdankte, sie legten ihr auf der anderen Seite Fesseln an, von denen diese sich jetzt wieder mit allen Mitteln zu befreien sucht.

In noch höherem Maße gilt dies von der zweiten großen Arbeit Newtons, deren Ergebnisse er in den »Optics« zusammenfasste. Mit ihr werden wir uns hier eingehender zu beschäftigen haben, denn wenn auch die Optics die Form eines mathematischen Lehrbuches zeigen, eine Anzahl Definitionen vorangestellt, deren Axiome und deren Beweise angeschlossen werden, so werden diese jedesmal durch den Versuch geprüft und bestätigt. Das aber giebt ihnen den Schein unanfechtbarer Ergebnisse, und da die Optics das lang vergeblich in Angriff genommene Problem der prismatischen und der Körperfarben in glücklichster Weise lösten, so stand man keinen Augenblick an, auch den übrigen in ihnen vorgetragenen Lehren dieselbe Beweiskraft zuzusprechen. So nahm man denn die Emmissionshypothese des Lichtes allgemein an, obwohl es ihrem Schöpfer durchaus nicht gelungen war, alle damals auf optischem Gebiete bekannten Thatsachen daraus zu erklären, und so schlug auch dieses Werk die Forschung in die Fessel des Vorurteils, welche abzuwerfen erst unserem Jahrhundert gelungen ist.

Demgegenüber ist es überraschend, gewöhnlich das Gegenteil über Newton behaupten zu hören, dessen berühmtes Wort[1]: »Hypothesen mache ich nicht« (hypotheses non fingo) die Berechtigung dazu geben muss. Aber dabei wird immer übersehen, dass dieser Ausspruch sich nur auf das Wesen der Gravitation bezog und entfernt nicht die allgemeine Bedeutung hatte, die man ihr unterlegen zu dürfen glaubt. Und wenn auch die ersten Worte der Optics[2]: »Meine Absicht in diesem Buche ist nicht, die Eigenschaften des Lichtes durch Hypothesen zu ergründen, sondern sie mit Hilfe der Theorie und des Experimentes aufzustellen und zu

1) Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica. Coloniae Alobrogum MDCCLX. Lib. III. Pars II. Scholium generale. S. 676.

2) Newton, Optics. 2. Ed. London 1718. S. 1.

beweisen«, sich auch gegen die Aufstellung von Hypothesen zu wenden scheinen, so muss doch hervorgehoben werden, dass er bereits auf der folgenden Seite jene löbliche Absicht aufgab[1], denn dort lesen wir am Anfang der zweiten Definition[2]: »Brechbarkeit der Lichtstrahlen ist ihre Fähigkeit (Disposition), gebrochen oder von ihrem Weg beim Übergang aus einen durchsichtigen Körper oder Mittel in einen anderen oder ein anderes abgelenkt zu werden«, und als dritte[3]: »Zurückwerfbarkeit der Strahlen ist ihre Fähigkeit reflektiert oder zurückgeworfen zu werden in das nämliche Mittel von einem anderen Mittel, auf dessen Oberfläche sie fallen.«

So ging er bereits mit der vorgefassten Meinung der den Strahlen zukommenden Fähigkeiten an seine Untersuchungen und deshalb sind denn auch seine Versuche keineswegs die mustergiltigen, als welche man sie hergebrachter Weise betrachtet. Sie erschöpften nicht, wie die Guerickes mit der Luftpumpe das Gebiet nach allen Seiten, obwohl sie von einer Weitläufigkeit waren, als habe es sich Newton zur Aufgabe gemacht, die Vorschriften Baco von Verulams für das Experimentieren recht genau einzuhalten. Dass Grimaldi[4] (1618—1663) schon vor ihm erkannt hatte, dass das farbige Licht als Bestandteil des weißen angesehen werden müsse, thut seinen Verdiensten freilich keinen Abbruch, den strengen experimentellen Beweis lieferte erst er.

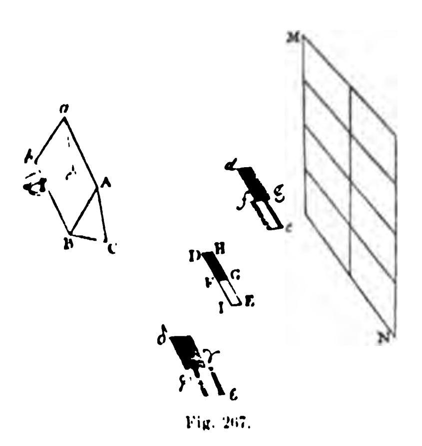


Fig. 267.

Er bediente sich dazu gewöhnlicher Glasprismen, wie man sie schon vor ihm vielfach zu ähnlichen Versuchen verwendete. Als Licht benutzte er Sonnenlicht, welches meist durch eine kreisförmige Öffnung in ein dunkles Zimmer fallen gelassen wurde. So stellte er zuerst fest, dass bei Anwendung zweier bestimmter Mittel verschieden farbige Strahlen verschiedene Brechungskoëffizienten besitzen. Dazu betrachtete er durch das Glasprisma *ABCabc* (Fig. 267) ein zur Hälfte rotes, zur Hälfte blaues Papier *DHFGIE*, welches von dem durch das Fenster *MN* einfallende Licht grell beleuchtet war. Stellte er die brechende Kante nach oben, so sah er das Bild *dfg* der blauen Fläche höher, wie das der roten *fge*, im entgegen-

[1] Richtig schildert den Thatbestand Heller in Geschichte der Physik. Stuttgart 1884. Bd. II. S. 291.
[2] Newton, Optics. S. 2.
[3] Newton, Optics. S. 3.
[4] Grimaldi, Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride. Bononiae 1665. S. 18.

gesetzten Falle erhielt er das umgekehrte, wie $\delta\varphi\gamma$ und $\varphi\gamma\varepsilon$ zeigen. Dabei entging ihm nicht, dass die Farben noch andere in anderer Weise brechbare enthielten, welche Veranlassung von farbigen Rändern wurden. Die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen der beiden Farben wies er sodann dadurch nach, dass er das Bild des zur Hälfte blauen, zur Hälfte roten Papieres DE (Fig. 268), welches durch ein Licht möglichst

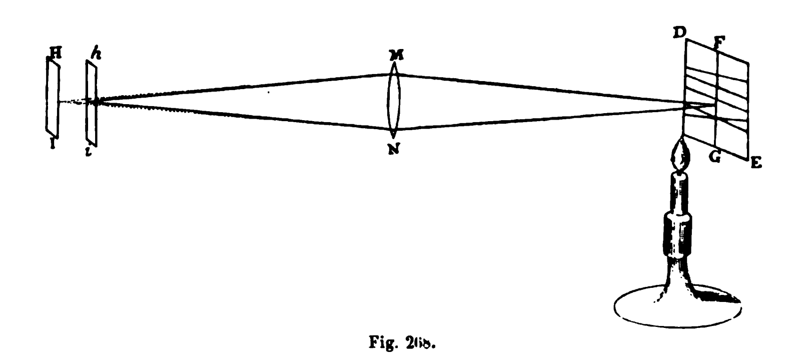


Fig. 268.

hell beleuchtet wurde, mittels der Linse MN auf einem Schirm entwarf. Schwarz seidene Fäden waren um DE geschlungen und ließen die Stelle HI eines Schirmes bestimmen, auf welchem das rote und die hi eines solchen, auf welchem das blaue Bild scharf entworfen wurde; das letztere lag der Linse näher.

Um den Nachweis zu führen, dass das Sonnenlicht aus verschieden farbigen Strahlen bestehe, entwarf Newton ein Spektrum PT (Fig. 269)

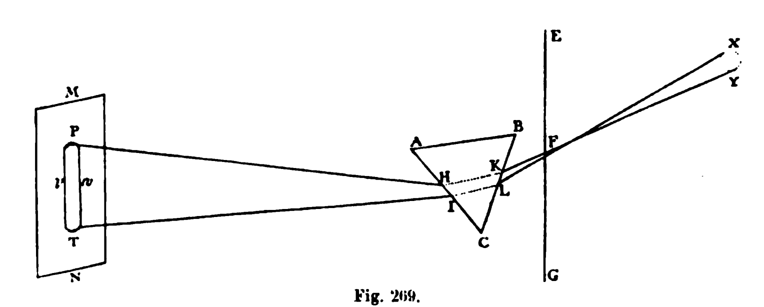


Fig. 269.

auf dem Schirm MN mittels des Prismas ABC, auf welches durch die runde Öffnung F im Fensterladen EG ein Strahlenbündel $XYKL$ fallen ließ. Er drehte dabei das Prisma um seine Längsachse und sah das farbige Bild der Sonne »erst herabgehen und dann wieder emporsteigen«. Als sich das Bild auf der Übergangsstelle zwischen beiden Bewegungen befand, setzte er das Prisma fest, stellte es also nach unserer Bezeichnung auf das Minimum der Ablenkung ein. Ebenso verfuhr er bei seinen sämtlichen späteren Versuchen. Er maß dann Länge und Breite des Sonnen-

bildes und überzeugte sich davon, dass einige im Prisma vorha
Blasen auf die Länge des Spektrums keinen Einfluss hatten, ind
denselben Versuch mit verschiedenen Prismen anstellte. Den Grund
dass an beiden Enden des Spektrums das Rot und Violett ein wenig
zugreifen schien, schrieb er Unregelmäßigkeiten in der Substanz u
Politur des Prismas zu. Änderungen in der Größe der Öffnung
Fensterladen oder der Dicke der Schicht des Prismas, welche die St
zu durchlaufen hatten, ergaben keinen Einfluss auf die Länge des
Ebensowenig beobachtete er einen solchen, als er das Glasprisma
ein prismatisches mit Wasser gefülltes Gefäß ersetzte, wobei ihm ab
Änderung in der relativen Länge der Farben entging. Er überzeugt
weiter, dass die subjektive Betrachtung das nämliche ergab.

Die Wirkung einer zweiten Brechung auf die Strahlen unter
Newton zunächst, indem er hinter das erste ABC (Fig. 270) ein z

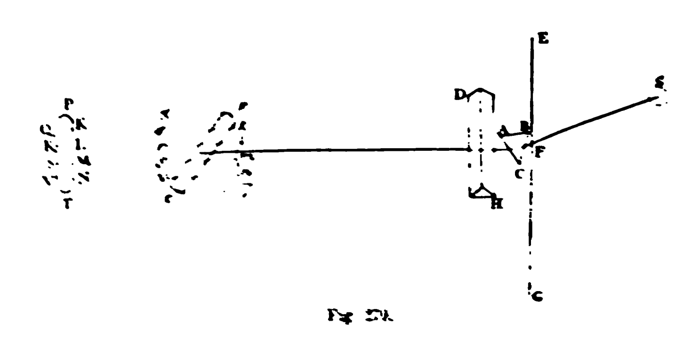


Fig. 270.

Prisma DH so aufstellte, dass ihre Achsen senkrecht aufeinander st
Dabei ergab sich, dass die brechbaren Strahlen mehr nach der Sei
gelenkt wurden, die Breite des Sonnenbildes aber die nämliche
Auch die Anwendung eines dritten, ja vierten Prismas änderte an d
Ergebnisse nichts. Daraus schloss Newton, dass Grimaldis Ann
die Strahlen könnten durch die Refraktion gespalten oder ausgel
oder in irgend einer anderen Weise unregelmäßig zerstreut werden,
richtig sein könne. Es ist dies der Versuch, den Newton in den
sophical Transactions aber nicht in den Optics das Experimentum
nennt. Vielfache Abänderungen des Versuches überzeugten ihn, da
beobachteten Erscheinungen sich nur aus der Annahme erklären l
dass das einfarbige Licht zwar immer wieder nach Maßgabe seiner
brechbar, aber nicht wieder zerlegbar sei. Das bewies er endlich ein
durch den in Fig. 271 dargestellten Versuch. Er sonderte aus
Bündel [illegible] welche durch ein Prisma ABC gegangen w
durch zwei in ihren Weg gestellte Schirme DE und de die Strahlen
Farbe aus und untersuchte sie mittels des zweiten Prismas abc. E

Newton, Philosophical Transactions [illegible] No. [illegible] S. 3075.

Brechung, aber keine neue Farbenzerstreuung. Auch an diesem Ergebnis änderte die Vermehrung der Prismen nichts. Indem dann Newton das Spektrum auf Druckschrift fallen ließ und deren Bild mit Hilfe einer

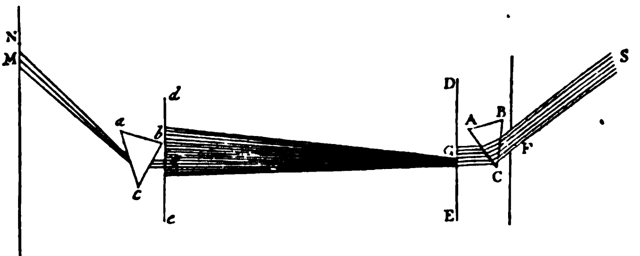


Fig. 271.

Linse auf einen Schirm warf, überzeugte er sich, dass die Linse verschoben werden musste, wenn die von den verschiedenen Farben beleuchtete Schrift ein scharfes Bild geben sollte. Sodann ließ er einen Teil der Strahlen total reflektieren, ohne jedoch dabei neue Beweisgründe zu erhalten (Prop. II, Theor. III). Doch führte ihn der Versuch zu der Folgerung, dass es bei mikroskopischen Beobachtungen vorteilhaft sei, das Objekt nicht mit zu sehr zusammengesetztem Lichte zu beleuchten[1]).

Bei den Versuchen mit dem Spektrum machte es sich in störender Weise geltend, dass die kreisförmigen Bilder einander zum Teile deckten, dass ein reines Spektrum also nicht erhalten wurde. Diesem Mangel suchte Newton in verschiedener Weise abzuhelfen. Am nächsten lag es, zur Erreichung dieses Zweckes die Öffnung im Fensterladen zu verkleinern, und diesen Weg schlug der berühmte Engländer in der That ein, suchte aber das Bild durch Einschaltung einer Linse noch mehr zu verschärfen. Die Art, wie er seinen Versuch anordnete, zeigt Fig. 272. Die Linse M würde,

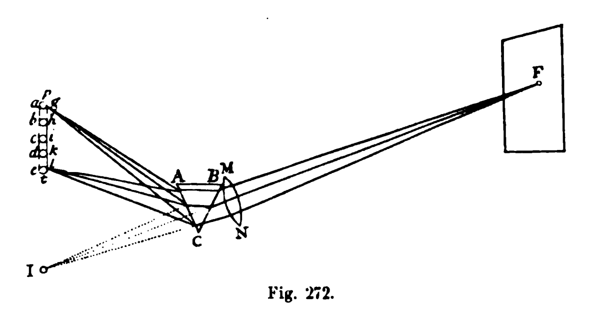


Fig. 272.

wenn das Prisma ABC nicht eingeschaltet worden wäre, das Bild I entworfen haben. Statt dessen erhält man das Spektrum pt, in welchem die Mischung heterogener Strahlen so gering ist, dass sie nicht mehr auffällt. Nur im Indigo und Violett ist sie zu bemerken, in welchen dunklen Farben

1) Newton, Philosophical Transactions. No. 88. S. 5096.

sie Ungleichmäßigkeiten im Prisma leichter hervortreten lassen. »Nun ist es aber besser«, bemerkt Newton[1]), »an Stelle der kreisrunden Öffnung *F* eine längliche zu setzen, und zwar von der Gestalt eines langen Parallelogramms, dessen Längsseiten dem Prisma *ABC* parallel sind«. Und weiter: »Anstatt dieser parallelogrammatischen Öffnung kann man eine solche in Gestalt eines gleichschenkeligen Dreieckes nehmen, dessen Basis z. B. ungefähr $\frac{1}{10}$ Zoll, und dessen Höhe mehr als 1 Zoll beträgt. Wenn alsdann die Achse des Prismas der Höhe des Dreieckes parallel ist, so wird das Bild *pt* [in Fig. 273] jetzt von gleichschenkeligen Dreiecken *ag*, *bh*, *ci*, *dk*, *el*, *fm* u. s. w. und unzähligen anderen, zwischenliegenden Dreiecken gebildet werden, die der dreieckigen Öffnung in Gestalt und Größe entsprechen und neben einander in ununterbrochener Reihe zwischen den parallelen Geraden *af* und *gm* liegen. Diese Dreiecke sind an ihren Basen ein wenig vermischt, aber nicht an ihren Spitzen; daher ist das Licht an der glänzenden Seite *af* des Bildes, wo die Basen der Dreiecke liegen, ein wenig zusammengesetzt, nicht aber an der dunkleren Seite *gm*, und die Zusammensetzung ist an allen Punkten zwischen den beiden Seiten dem Abstande von der dunkleren Seite *gm* proportional. Bei einem dergestalt zusammengesetzten Spektrum kann man entweder mit seinem stärkeren und weniger einfachen Lichte nahe der Seite *af* oder mit dem schwächeren und einfachen Lichte näher an *gm* Versuche anstellen, wie es gerade am passendsten erscheint«.

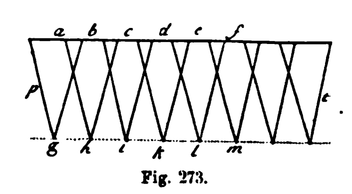


Fig. 273.

Wie wenig vollkommen die damaligen Linsen und Prismen noch waren, geht aus den Vorsichtsmaßregeln hervor, welche Newton empfiehlt. Die Randteile des Prismas und der Linse, die eine unregelmäßige Brechung geben, verklebt er mit schwarzem Papiere. Da es schwer hielt, taugliche Glasprismen zu erhalten, so benutzt er statt ihrer öfters prismatische Gefäße mit Spiegelglaswänden, welche er mit Regenwasser, wohl auch mit Bleizuckerlösung, füllte (Prop. IV, Probl. I).

Dass homogenes Licht nur regelmäßig gebrochen, nicht aber gespalten und zerstreut ist, woran Grimaldi gedacht hatte, bewies der englische Forscher dann noch dadurch, dass er, als er mittels einer runden Öffnung in einem Schirme aus einem darauf entworfenen Spektrum homogenes Licht absonderte und dieses durch ein Prisma gehen ließ, ein rundes, nicht aber ein langgezogenes Bild erhielt, dass er ferner eine runde Papierscheibe von $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, welche von Sonnenlicht, und eine zweite, ebenso große, welche von homogenem Lichte beleuchtet wurde, durch das Prisma betrachtete, wobei jene lang gestreckt, diese in ihrer natürlichen

1) Newton, Optics. S. 59 und 60. Übersetzung nach Ostwalds Klassiker. No. 96. S. 47 und 48.

Form erschien, dass er endlich kleine Gegenstände, die von Sonnenlicht oder von homogenem Lichte beleuchtet wurden, durch das Prisma anschaute und sie nur im ersten Falle von Farbensäumen umgeben sah (Prop. V, Theor. IV).

Im zweiten Teile der Optics wendete sich Newton der Frage zu, ob nicht vielleicht die Strahlen im reflektierten oder gebrochenen Lichte durch neue Modifikationen des Lichtes hervorgerufen würden. Dass die Reflexion einen solchen Einfluss nicht habe, ergab die direkte Betrachtung reflektierter Farben mit dem Prisma, dass er aber auch der Brechung nicht zukomme, beweist er durch folgende Versuche: Er ließ zunächst, Fig. 274,

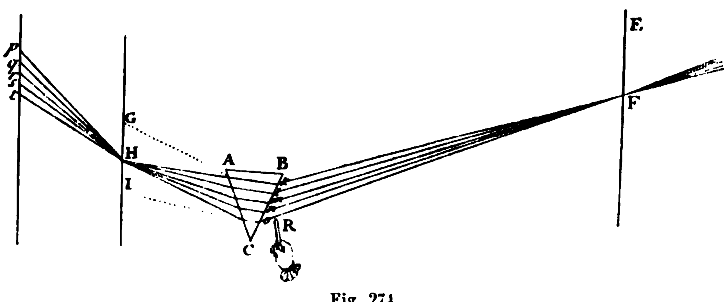


Fig. 274.

Sonnenlicht durch den mäßig schmalen Spalt F auf das Prisma ABC fallen, welches auf den geschwärzten Schirm ein weißes Bild H des Spaltes mit den farbigen Rändern IH und GH entwarf. Einen in diesem Schirme angebrachten Spalt rückte er so, dass auf ihn das weiße Bild H fiel. Die nach dem Durchgange durch den Schirm divergent weiter gehenden Strahlen entwarfen auf einem zweiten weißen Schirme ein Spektrum pt, dessen Farben sich nicht änderten, wenn er bei R den Kanten des Prismas parallel einen Draht in die Lichtstrahlen brachte. Man hatte daran gedacht, die Farben könnten aus den Schattengrenzen entstehen. Da jede Farbe bei diesem Versuche Schattengrenze werden konnte, ohne irgend welche Veränderung zu erleiden, so ergab sich die Unrichtigkeit dieser Annahme.

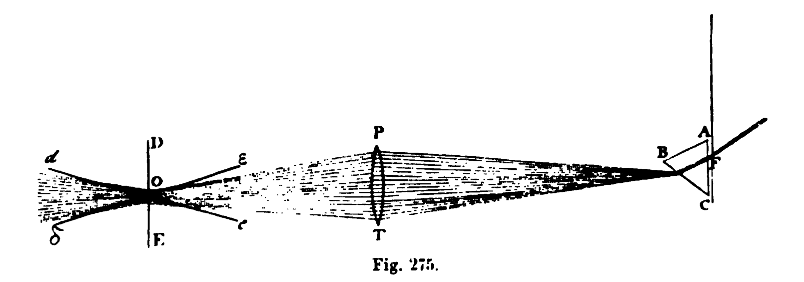


Fig. 275.

Sodann ließ Newton durch eine runde Öffnung F im Fensterladen (Fig. 275) Sonnenlicht auf das Prisma ABC fallen und vereinigte die von

ihm zerstreuten Strahlen mittels der Linse PT auf den Papierschirm DE. Stand der Schirm senkrecht zu dem Achsenstrahle BO wie DE, so erschien bei O ein weißer Fleck, befand sich der Schirm in der Lage de, wurde dieser Fleck rot und gelb, in der Lage $\delta\varepsilon$ aber blau, obwohl die Schattengrenze in beiden Fällen dieselbe war (Prop. I, Theor. I).

Er änderte diese Versuche in der verschiedensten Weise ab, blendete unter anderem durch einen mit breiten Einschnitten versehenen, einer Zahnstange ähnlichen Papierstreifen, den er zwischen Prisma und Linse hielt, einen Teil der Farben ab und beobachtete dann, dass das auf DE entworfene Bild immer gefärbt war. Aber auch die Zähne des Papierstreifens zeigten Farben. Die auf ihnen auftretenden Farben gaben mit der auf DE erscheinenden zusammen immer weiß.

Endlich entwarf er ein Spektrum auf geteiltes Papier und bestimmte die Breite der einzelnen Farben. Er fand sie in demselben Verhältnisse stehend wie die Seitenlängen der die Tonleiter bildenden Töne. Nahm er nämlich der Reihe nach, Fig. 276, GX, λX, νX, ηX, εX, γX, αX und

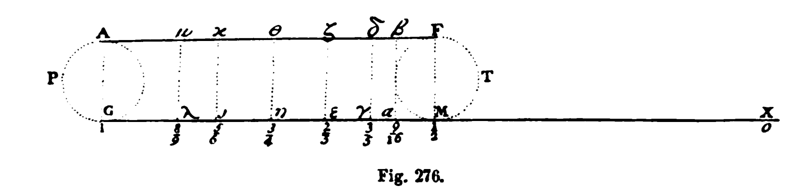


Fig. 276.

MX zu 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$ und $\frac{1}{2}$, so erstreckte sich das Rot über $M\alpha$, das Orange über $\alpha\gamma$, das Gelb über $\gamma\varepsilon$, das Grün über $\varepsilon\eta$, das Blau über $\eta\iota$, das Indigo über $\iota\lambda$ und das Violett über AG. Das bewog Newton zur Annahme der sieben Regenbogenfarben, obwohl der Unterschied zwischen Blau und Indigo ein durch den Augenschein keineswegs gerechtfertigter ist.

So gut es mit Pigmentfarben ging, suchte der berühmte englische Forscher nun auch durch Mischung verschiedener Farben Weiß zu erhalten. Es gelang ihm, indem er farbige Pulver mischte, in ausreichender Weise, besser noch mit der sehr hübschen Konstruktion des bekannten Farbenkreisels, der ihn zu dem Schlusse kommen ließ, dass alle objektiven Farben homogene oder aus solchen zusammengesetzte Farben seien. Er erklärte nun vollständig die Farben des Regenbogens und berechnete die Winkel, unter denen seine Farben erscheinen, ebenso gelang ihm die Erklärung der Körperfarben, die er durch den jetzt noch dem nämlichen Zwecke dienenden Versuch über allen Zweifel erhob, dass ein Blatt Goldschaum im auffallenden Lichte gelb, im durchfallenden [illegible] it.

Zur endgültigen Prüfung aller der [illegible]
endlich Newton noch den Versuch [illegible]
Er ließ durch eine runde Öffnung [illegible]

strahlen auf die Öffnung φ eines das Prisma ABC bedeckenden Schirmes fallen, das sie in ihre Farben zerlegte und auf die Linse MN gelangen ließ, die sie sammelte und als weißes Licht auf das dem ersten gleiche Prisma EdG warf. Da beide Prismen sich in gleichem Abstande von

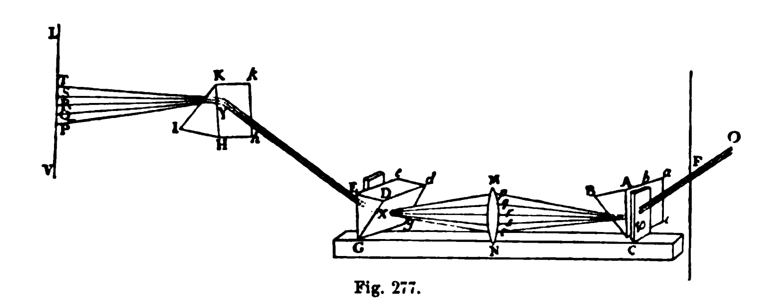


Fig. 277.

der Linse befanden, so gingen die von EDG gebrochenen Strahlen XY als ein Bündel paralleler weißer Strahlen weiter und ein drittes Prisma IKH konnte sie wieder zerlegen und auf dem Schirme LV das gewöhnliche Spektrum TP entwerfen. Somit war das mittels MN aus dem farbigen erhaltene weiße Licht dem ursprünglichen ganz gleich.

Auch die nach ihm benannten Farbenringe, welche entstehen, wenn man eine schwach gekrümmte Linse auf ein Stück Spiegelglas legt, hat Newton in den Optics beschrieben, endlich seine bekannte Hypothese zur Erklärung der Reflexion und Brechung. Danach sollen die von ihm angenommenen Lichtteilchen Anwandlungen (fits) von Reflexion und Transmission zeigen, eine Annahme, mit deren Hilfe er auch die Inflexion und Doppelbrechung zu erklären sucht. Den Gang des außerordentlich gebrochenen Strahles, den Huygens bereits richtig angegeben hatte, hat er aber falsch bestimmt. Die Darstellung dieser Betrachtungen gehört in die Geschichte der Physik, nicht in die der physikalischen Experimentierkunst.

2. Das Spiegelteleskop. Newtons sonstige Versuche.

Wir haben gesehen, dass die Brauchbarkeit der Refraktoren in hohem Grade durch die chromatische Aberration der Linsen beeinträchtigt war. Die Bestrebungen zur Verbesserung der Fernröhre mussten also von dem Studium der Farbenlehre ausgehen. Newton untersuchte deshalb die Größe des Kreises, als welcher das durch eine Konvexlinse entworfene Bild eines Punktes erscheint, indem er von der subjektiven Helligkeit der rben ausging. Am stärksten fand er den Eindruck, den Gelb und Orange das Auge machen, nach ihnen den von Rot und Grün, noch schwächer von Blau, Indigo und Violett aber sind so dunkel, dass man sie zu berücksichtigen braucht. Entwirft nun eine Linse das Bild n Punktes in ihrem Brennpunkte, so wird alles Gelb und Orange

in einen Kreis fallen, dessen Durchmesser der 250. Teil von der Öffnung der Linse ist. In diesen Kreis fallen $\frac{3}{5}$ des von den dem Orange nächsten roten und den dem Gelb nächsten grünen Strahlen erzeugten Bildes, und etwa $\frac{1}{4}$ von der anderen Hälfte der roten und grünen Strahlen, deren Farbe als Dunkelrot und »Weidengrün« bezeichnet wird. Die außerhalb jenes Kreischens fallenden Strahlen werden auf einen soviel größeren Raum ausgebreitet, dass ihre Wirkung vernachlässigt werden kann, also namentlich die der blauen und noch mehr die der indigofarbenen und violetten Strahlen. »Das wahrnehmbare Bild eines leuchtenden Punktes ist daher kaum breiter, als der 250. Teil vom Durchmesser der Öffnung des Objektglases eines guten Fernrohres ist, oder doch nicht viel breiter, mit Ausnahme eines schwachen, dunkeln, nebeligen Lichtes ringsherum, welches der Beobachter kaum beachten wird«[1]). Unter einem solchen Durchmesser müsste also ein Stern erscheinen, wie das die Astronomen in der That beobachtet haben, während der Stern punktförmig erschien, sobald das Objektiv mit einer Rußschicht bedeckt wurde. Gegen diese durch die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen bedingten Ungenauigkeiten fallen die durch die Kugelgestalt der Objektive bewirkten ganz und gar weg.

Wäre die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen nicht vorhanden, so wäre es möglich, die Fernrohre zu größerer Vollkommenheit zu bringen, wenn man, wie dies schon Hooke vorgeschlagen hatte, die Objektive aus zwei Gläsern, *ABED* und *BCFE*, zusammensetzte und den Zwischenraum zwischen beiden *BMEN* mit Wasser füllte (Fig. 278). Da sie aber besteht, so kann man die Refraktoren nur durch Vergrößerung ihrer Länge verbessern, wie dies Huygens gethan hat. Solche aber werden sich leicht biegen und Erschütterungen zeigen, wodurch die Deutlichkeit der Bilder sehr beeinträchtigt wird. Kürzere Fernrohre kann man also nur erhalten, wenn man anstatt des Objektives einen konkaven Metallspiegel anwendet, wie es die Fig. 279 zeigt, wobei die Strahlen durch ein total

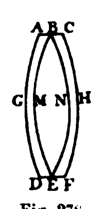


Fig. 278.

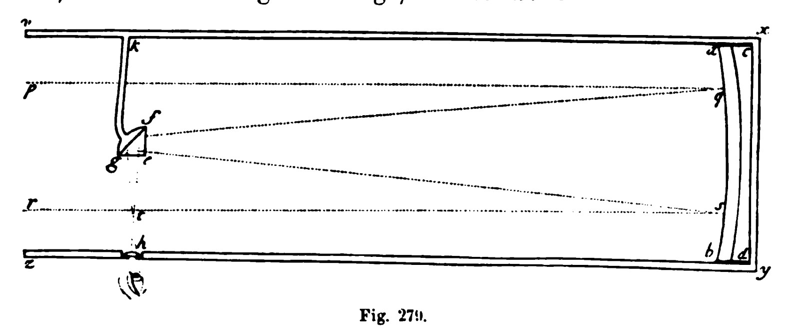


Fig. 279.

reflektierendes Prisma zurückgeworfen werden. Zwischen das Auge und das Okular stellte Newton ein Diaphragma, um unregelmäßig reflektierte Strahlen

1) Newton, Optics. S. 87. Ostwalds Klassiker. No. 96. S. 66.

aufzufangen. Er verfertigte im Jahre 1671 zwei solcher Apparate, von denen der eine aber besser war wie der andere. Sie gaben stärkere Vergrößerung wie ein holländisches Fernrohr, wiesen aber geringere Lichtstärke auf, weil bei der Reflexion am Metalle mehr Licht verloren ging, wie beim Durchgange durch das Glas. Fig. 280 zeigt die Darstellung des Fernrohres in den Philosophical Transactions. Das eine dieser Fernrohre ist noch vorhanden[1]) und unterscheidet sich von dem abgebildeten nur durch die zweckmäßigere Anordnung der das Fernrohr tragenden Kugel.

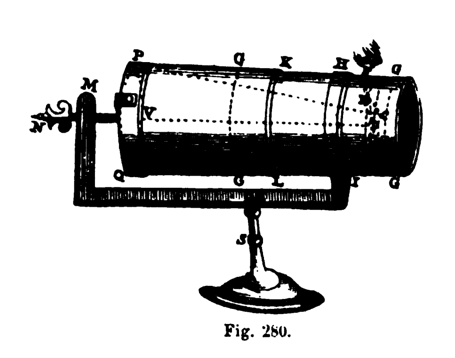


Fig. 280.

Übrigens ist Newton nicht der erste gewesen, welcher den Hohlspiegel zur Herstellung des Teleskopes verwendete. Dieses Verdienst gebührt dem Jesuiten Zucchi (1586—1670), dem es bereits 1616 nach mehreren missglückten Versuchen gelungen war, ein aus einem Hohlspiegel und einer Zerstreuungslinse bestehendes Fernrohr herzustellen[2]), also genau das Analogon des holländischen Fernrohres zu schaffen. 1663 schlug Gregory (1638—1675) eine andere Konstruktion eines Spiegelteleskopes vor. Er wollte den Hohlspiegel durchbohren, der Durchbohrung einen zweiten kleineren Hohlspiegel entgegenstellen und das von diesem entworfene Bild durch eine Linse betrachten, welche sich auf der anderen Seite der Durchbohrung befand. Aber er glaubte, sphärische Spiegel nicht anwenden zu dürfen, er wollte vielmehr den einen Spiegel parabolisch, den anderen elliptisch machen[3]). Da er aber solche Spiegel herzustellen nicht im stande war, so blieb sein Vorschlag unausführbar. Newton erwähnt weder Zucchi noch Gregory, und es ist also möglich, was auch Huygens[4]) anzunehmen scheint, dass er deren Vorschläge nicht kannte, als er sein Fernrohr entwarf. Indem nun Gregory sich die gelungene Ausführung des letzteren insofern zu nutze machte, als er auch sphärische Spiegel nahm, gelang ihm auch die Ausführung seines Teleskopes. Es scheint übrigens, als habe man damals alle Spiegelteleskope Newtonsche genannt oder Newton für

---

1) Es war in der Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London 1876 im South Kensington Museum zu sehen. Newton selbst giebt an, dass er obige Fernröhre 16 Jahre vor 1687 hergestellt habe (Optics. 2. Ed. London 1718. Advertisement I. vom Jahre 1704, S. 92). Am 25. Januar 1672 teilte Oldenburg Huygens eine Zeichnung des Newtonschen Teleskopes mit, welche genau mit dem noch vorhandenen Apparat übereinstimmt. (Huygens, Oeuvres complètes. VII. S. 128. S. Gerland, in Hofmanns Bericht. I. S. 49.)

2) Zucchi, Optica philosophica. Lugd. Bat. 1652—56.

3) Gregory, Optica promota. Londini 1663. S. 92 ff.

4) Huygens, Oeuvres complètes. VII. S. 134 und 189.

den Erfinder ihrer sämtlichen Arten gehalten. Wenigstens beschrieb noch 1742 ein Ungenannter[1]) das Gregorysche als Newtonsches Fernrohr. Das von Newton konstruierte Teleskop verdrängte bald, da es nur einen Spiegel brauchte, alle übrigen, da, wo es sich um astronomische Beobachtungen handelte. Doch wurde auch das Gregorysche in kleinen Abmessungen häufig für Liebhaber hergestellt. Erst in neuerer Zeit dagegen fand der Vorschlag Cassegrains'[2]) mehr Beachtung, den Fig. 281 darstellt, das Fernrohr dadurch kürzer zu machen, dass man den kleinen Hohlspiegel Gregorys durch einen erhabenen Spiegel F ersetzte.

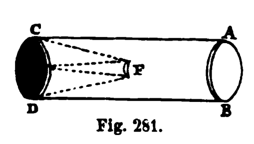


Fig. 281.

Ebenso wie bei den Refraktoren alles darauf ankam, dass das Objektiv gut geschliffen war, so bei den Reflektoren, dass der Spiegel eine möglichst regelmäßige Form aufwies. Wie nun die Forscher ihre Linsen selbst schliffen und sich keine Mühe verdrießen ließen, die möglichste Vollkommenheit zu erreichen, so bearbeitete Newton seine Spiegel selbst. Wie er es that, hat er genau beschrieben. »Ich nahm«, sagt er[3]), »zwei runde Kupferplatten, jede von 6 Zoll Durchmesser, eine konvexe und eine konkave, die sehr genau aufeinander passten. Auf der konvexen rieb ich das konkave oder Objektivmetall, welches geschliffen werden sollte, so lange, bis es die Gestalt der konvexen hatte und zur Politur fertig war. Hierauf überzog ich das konvexe Metall mit einer ganz dünnen Schicht von Pech, welches ich geschmolzen darauf träufelte, und erhielt das Pech durch Erwärmen weich, während ich es mit der angefeuchteten konkaven Kupferplatte presste und rieb, um es gleichmäßig über die konvexe Platte zu verbreiten. Durch sorgfältiges Arbeiten machte ich diese Pechschicht so dünn wie ein 4 Pencestück, und nachdem die konvexe Platte erkaltet war, rieb ich wieder, um ihr, so gut ich konnte, die richtige Gestalt zu geben. Hierauf nahm ich Zinnasche, die ich durch sorgfältiges Waschen von allen gröberen Partikelchen befreit und sehr fein gemacht hatte, legte davon ein wenig auf das Pech und verrieb sie mit der konkaven Kupferplatte, bis kein Geräusch mehr hörbar war, dann rieb ich mit rascher Bewegung die Objektivplatte auf dem Pech unter kräftigem Drucke 2 bis 3 Minuten lang, that frischen Zinnsand auf das Pech, rieb wieder, bis es kein Geräusch mehr gab und rieb dann die Objektivplatte darauf wie zuvor. Dies setzte ich fort, bis das Metall poliert war, indem ich zuletzt mit aller meiner Kraft eine ziemliche Weile rieb und dabei häufig auf das Pech, um es feucht zu machen, Wasser brachte, ohne frischen Zinnsand aufzulegen. Das Objektivmetall war 2 Zoll breit und, um es vor Biegung zu bewahren, etwa $\frac{1}{3}$ Zoll

1) Nova Acta Eruditorum. 1742. S. 33.

2) Zuerst mitgeteilt von Denis in Recueil des Mémoires et Conférences sur les Arts des Sciences Présentées à Monseigneur le Dauphin Pendant l'année 1657. Journal des Sçavans 15. Avril 1672.

3) Newton, Optics. S. 92. Ostwalds Klassiker. Nr. 96. S. 69 ff.

dick. Ich hatte zwei solche Metallobjektive, und wenn ich sie beide poliert hatte, probierte ich, welches das bessere sei, und bearbeitete das andere wieder, um zu sehen, ob ich es noch vollkommener herstellen könnte, als das, was ich behielt. So lernte ich durch viele Proben die Methode des Schleifens, bis ich endlich die zwei Spiegelteleskope machte, von denen ich vorhin sprach. Diese Art zu schleifen lernt man besser durch wiederholte Übung, als aus meiner Beschreibung. Bevor ich das Objektivmetall auf dem Peche bearbeitete, rieb ich allemal mit der konkaven Kupferplatte die Zinnasche auf ihm, bis kein Geräusch mehr wahrgenommen wurde; weil die kleinsten Teilchen der Zinnasche, wenn sie nicht fest in das Pech eindringen, beim Hin- und Herrollen das Objektivmetall zerkratzen und reiben und eine Menge kleiner Löcher machen würde«.

»Da aber Metall schwerer zu schleifen ist als Glas und nachher auch sehr leicht durch Trübewerden wieder verdirbt, außerdem das Licht nicht so leicht reflektiert wie amalgamiertes Glas, so würde ich vorschlagen, anstatt Metall ein auf der Vorderseite konkav, auf der Rückseite ebenso stark konvex geschliffenes Glas zu benutzen, welches auf der konvexen Seite amalgamiert würde. Dies Glas muss überall von genau gleicher Dicke sein, da sonst die Objekte farbig und undeutlich erscheinen. Aus einem solchen Glase versuchte ich vor 5 oder 6 Jahren ein Spiegelteleskop von 4 Fuß Länge zu machen und kam zu der Überzeugung, dass es nur an einem geschickten Künstler fehlt, diese Absicht zur Ausführung zu bringen. Denn das Glas, welches von einem unserer Londoner Künstler nach der Methode, wie sie Ferngläser schleifen, bearbeitet war, schien zwar ebenso gut gearbeitet, wie es diese gewöhnlich sind, als es aber amalgamiert war, ließ die Reflexion unzählige Ungleichheiten, über das ganze Glas verteilt, erkennen, so dass die Objekte durch dieses Instrument ganz undeutlich erschienen. Denn die von Ungleichheiten im Glase stammenden Fehler der reflektierten Strahlen sind ungefähr sechsmal so groß, als die auf dieselbe Weise hervorgerufenen Fehler der gebrochenen Strahlen. Indessen überzeugte ich mich bei diesen Versuchen, dass die Reflexion an der konkaven Seite des Glases, von der ich fürchtete, dass sie beim Hindurchblicken stören würde, dies doch nicht merklich beeinträchtigte, dass also nichts zur Vervollkommnung solcher Fernrohre fehlt, als gute Arbeiter, welche genau sphärisch zu schleifen und zu polieren verstehen. Ich habe einmal ein Objektivglas eines 14 Fuß langen Fernrohres, welches ein Londoner Künstler gefertigt hatte, bedeutend verbessert, indem ich es mit Zinnasche auf Pech polierte, und dabei nur ganz leicht aufdrückte, damit die Zinnasche nicht ritzte. Ob nicht diese Methode für die Politur der zu Reflektoren bestimmten Gläser genügen würde, habe ich nicht ausprobiert; wer aber diese oder eine andere Schleifmethode, die er für besser hält, versuchen will, der wird gut thun, seine zur Politur bestimmten Gläser beim Schleifen nicht mit solcher Gewalt zu drücken, wie es bei unseren Londoner Arbeitern üblich ist«.

Diese Schilderung der Art, wie Newton seine Spiegel herstellte, enthält durchaus nichts Neues, sie zeigt ihn vielmehr ganz abhängig von den Künstlern und den Arbeitern. Namentlich die Kupferschalen, deren Form er durch Schleifen auf den Spiegel erhielt, scheint er sich haben anfertigen zu lassen. Wie er sie erhalten hat, sagt er mit keinem Worte, und es musste doch alles darauf ankommen, dass sie genau kugelförmig waren. So hatte wohl Huygens nicht Unrecht, wenn er sich über Newtons Teleskop folgendermaßen äußerte[1]): »Wenn Herr Newton nicht bereits einen Weg gefunden hat, es besser zu machen, wie es gewöhnlich geschieht, fürchte ich, dass sein Fernrohr die Gegenstände nicht so gut wird unterscheiden lassen, als solche mit Gläsern gestatten«. Newton nahm diese Kritik freilich sehr übel, aber seine gereizte Äußerung darüber änderte nichts an der Sache[2]).

Von den weiteren experimentellen Arbeiten, welche Newton ausführte, haben wir diejenigen über die Erkaltung besprochen, es bleiben nur noch einige elektrische und magnetische Versuche zu erwähnen[3]). Er fand, dass eine Glastafel, die auf einem messingenen Ringe ruhte, durch Reibung am besten mit Wolle elektrisch werden konnte, und sah, dass die Tafel kleine leichte Körperchen dann anzog. Er mag dabei der erste gewesen sein, der sich des Glases als zu reibenden Körpers bediente, im übrigen unterscheiden sich seine Versuche kaum von den entsprechenden Guerickes. Die magnetischen Beobachtungen, deren Einzelnheiten er nicht mitteilt, führten ihn auf den Gedanken, dass die magnetische Kraft im Verhältnisse der dritten Potenz der Entfernung wirke[4]).

Werfen wir nun noch einen Blick auf Newtons experimentelle Arbeiten im ganzen, so unterscheiden sie sich von denen seiner großen Zeitgenossen auf den ersten Blick dadurch, dass sie neue Erfindungen kaum enthalten. Denn auch das Spiegelteleskop war bereits lange vor ihm da, wenn es auch möglich ist, dass diese Idee auch ihm angehört. Dagegen ist es bei ihnen ein moderner Zug, dass sie die Erkenntnis eines oder mehrerer Gesetze zu vermitteln und deren Richtigkeit dann nachzuweisen suchen. So fassen ja auch die Principia systematisch in mathematischer Form das vorhandene Material zusammen, und diese neue und imponierende Art der Darstellung, und vielleicht noch mehr seine Fluxionsrechnung umgeben seinen Namen mit einem Nimbus, dass seine Arbeiten für

---

1) Huygens, Philosophical Transactions. 1672. No. 81. S. 4008. »If Mr. Newton hath not already found a way to make it better than ordinarily, J'apprehend his telescope will not so well distinguish Objects as those with glasses« und ähnlich in dem Brief an Oldenburg vom 1. Juli 1672. Huygens, Oeuvres complètes. VII. S. auch Mém. Par. X. 1672. S. 505.

2) Brief Newtons an Oldenburg vom 3. Juli 1673. Huygens, Oeuvres complètes. VII. S. 332.

3) Newton, Philosophical Transactions. 1675.

4) Newton, Principia. Lib. III. Prop. VI. Coroll. 5.

diejenigen der folgenden 100 Jahre mehr oder weniger bestimmend wurden. Damit tritt er neben Galilei. Aber während das unter des großen Florentiners Einfluss stehende Jahrhundert das des größten und dauernden Fortschrittes ist, wie ja ohne es für die Principia der Stoff nicht vorhanden gewesen wäre, so weist das von Newton abhängige, von Herbeischaffung einigen empirischen Materiales abgesehen, fast nur Rückschritte auf. Erst nachdem die richtigeren Anschauungen, welche vor ihm aufgestellt waren, wieder Beachtung und bald Geltung gefunden hatten, waren die Fortschritte unseres Jahrhunderts möglich, die dieses neben, ja über das der Renaissance stellen.

Réaumur und das Thermometer.

So groß war der Fortschritt gewesen, den Fahrenheit in der Kunst der Herstellung der Thermometer gemacht, so augenscheinlich die Verbesserungen, die er an dem so wichtigen Instrumente angebracht hatte, dass man ein Wiederaufgeben der errungenen Vorteile für unmöglich halten musste. Auch waren die bedeutungsvollen Arbeiten von der Royal Society veröffentlicht, und so schien auch für ihre weite Verbreitung auf das beste gesorgt zu sein. Trotzdem kannte sie das Mitglied der Pariser Akademie der Wissenschaften, Antoine de Réaumur (1683—1757), nicht, als der berühmte Zoologe, dem auch die Eisenindustrie wichtige Förderung verdankt[1]), daran ging, die damals im Gebrauche befindlichen Thermometer zu verbessern. Der Mangel an brauchbaren Instrumenten dieser Art mochte ihm bei einigen Versuchen, die er angestellt hatte und die die Auflösungen zum Gegenstande hatten, unangenehm aufgefallen sein. Man wusste zu seiner Zeit bereits[2]), dass beim Auflösen von Salzen eine Abkühlung, bei der Mischung von Flüssigkeiten eine Erwärmung eintritt; Geoffroy, der jüngere (1695—1752), hatte die letzte bei Mischung von Alkohol und Wasser genauer untersucht[3]). Réaumur fand nun, dass bei einer solchen Mischung eine Kontraktion eintrete[4]) und bestätigte dies durch Beobachtung der Ausdehnung gefundene Ergebnis durch Bestimmungen der spezifischen Gewichte der Mischung und ihrer Bestandteile mittels des Dichtigkeitsfläschchens von Homberg. Die Thermometer, welche ihm für diese Untersuchung zur Verfügung standen, waren freilich mit Fahrenheitschen entfernt nicht zu vergleichen. Man braucht nur einen Blick auf die in Leiden noch befindlichen von ihm verfertigten Apparate zu werfen, um sich zu überzeugen, wie sehr gegen jene ein ebenfalls dort aufbewahrtes Pariser

1) L. Beck, Geschichte des Eisens. III. Abt. S. 765 ff.

2) Hist. et Mém. de l'Académie de Paris. 1730. S. 452. Übersetzt in Ostwalds Klassikern. Nr. 57. S. 19.

3) Mém. de l'Acad. de Paris. 1713. S. 53.

4) Mém. de l'Acad. de Paris. 1733. S. 165 ff. Übersetzt in Ostwalds Klassikern. Nr. 57. S. 100.

Instrument vom Jahre 1736 mit seinem ungefügen kugelförmigen Gefäß, seiner Alkoholfüllung und seiner Skala auf hinter das Rohr gelegtem Papier absticht. In ihrem Äußeren waren die Réaumurschen Thermometer von solchen Instrumenten nur wenig verschieden. Gegen die Thermometer aber, wie sie trotz Amontons Arbeiten damals in Paris allein im Gebrauche gewesen sein müssen, bedeuteten allerdings Réaumurs Arbeiten einen Fortschritt. Ihre allgemein geschichtliche Stellung ist freilich die, dass sie der Einführung der von Fahrenheit angebrachten Verbesserungen lange hindernd im Wege gestanden haben und es der umfassenden Arbeit Delucs bedurfte, um die Kunst der Herstellung der Thermometer wieder in ersprießlichere Bahnen zu lenken.

Vor allem tadelt Réaumur, dass die damaligen Pariser Thermometer eine Vergleichung ihrer Angaben unmöglich machten, da an den verschiedenen Instrumenten ein auf gleiche Weise bedrucktes Papier die Größe der Grade angebe, die Größe der Kugel und ihr Verhältnis zum Rohre mochte sein, welches es wolle. Weiter findet er es vom Übel, dass das Kaliber der Röhren nicht gleichmäßig sei und begiebt sich zunächst daran, diese Unvollkommenheit zu verbessern. Dabei hat er freilich nur das Florentiner Thermometer mit Alkohol im Auge. Außer diesem kennt er nur das Luftthermometer, das bei diesem aber als Sperrflüssigkeit angewendete Quecksilber nun auch, wie es Fahrenheit that, als thermometrische Substanz zu benutzen, fällt ihm, trotz der großen Schwierigkeiten, welche ihm der Alkohol macht, nicht ein. Wohl denkt er daran, den Weingeist durch Wasser zu ersetzen, kommt aber davon zurück, da die Ausdehnung des Wassers nicht groß genug ist.

Die kleinen Instrumente, wie sie damals üblich waren und jetzt noch üblich sind, zu kalibrieren, erwies sich freilich als nicht thunlich, er schlug also denselben Weg ein, wie längst vor ihm Hooke, er nahm Thermometer von $2\frac{1}{2}$ bis 3, ja $3\frac{1}{2}$ Linien lichtem Durchmesser, obwohl er nicht verkennt, dass deren Empfindlichkeit nicht groß sein kann. Die Kalibrierung selbst führt er mit Wasser aus, welches er mit den Pipetten (Fig. 282, [Fig. 3, 5 und 11]) von verschiedener Größe in das Rohr mit angesetzter Kugel (Fig. 1) einfüllte. So war es leicht in nicht zu weite Rohre gleiche Volumina Wasser zu bringen, in weitere wurde es aus den Messfläschchen (Fig. 6 und 7), die mittels der Pipetten kalibriert waren, unter Anwendung des Trichters (Fig. 10) gefüllt. Den einen seiner festen Punkte legte er dann nach C (Fig. 1) und leerte nun das Messgefäß soviel Mal in das Thermometer aus, bis das Wasser nahe unter C zu stehen kommt. Durch Hineinwerfen von Sandkörnern oder Glasstückchen in das Thermometer bringt er es dann dahin, dass die Flüssigkeit genau bis C steht, also eine ganze Anzahl Volumina angegeben werden. Nun fügt er gleiche Volumina hinzu und zieht neben den jedesmaligen Stand des Wassers einen Strich auf die Platte, auf welche nach Maßgabe der Fig. 282 (Fig. 8) das Thermometer befestigt worden ist. Dabei findet er es zweckmäßiger, nicht etwa

überhaupt statt Wasser Quecksilber zu nehmen, sondern zu dem bis C gebrachten Wasser Quecksilber behufs des Kalibrierens zu bringen. Um die Teilstriche unter C zu erhalten, wird dann jedesmal soviel Wasser ausgegossen, bis das angewendete Maßgefäß gefüllt ist, und nun die Höhe des zurückgebliebenen bezeichnet. Nachdem das Graduieren beendet ist, wird

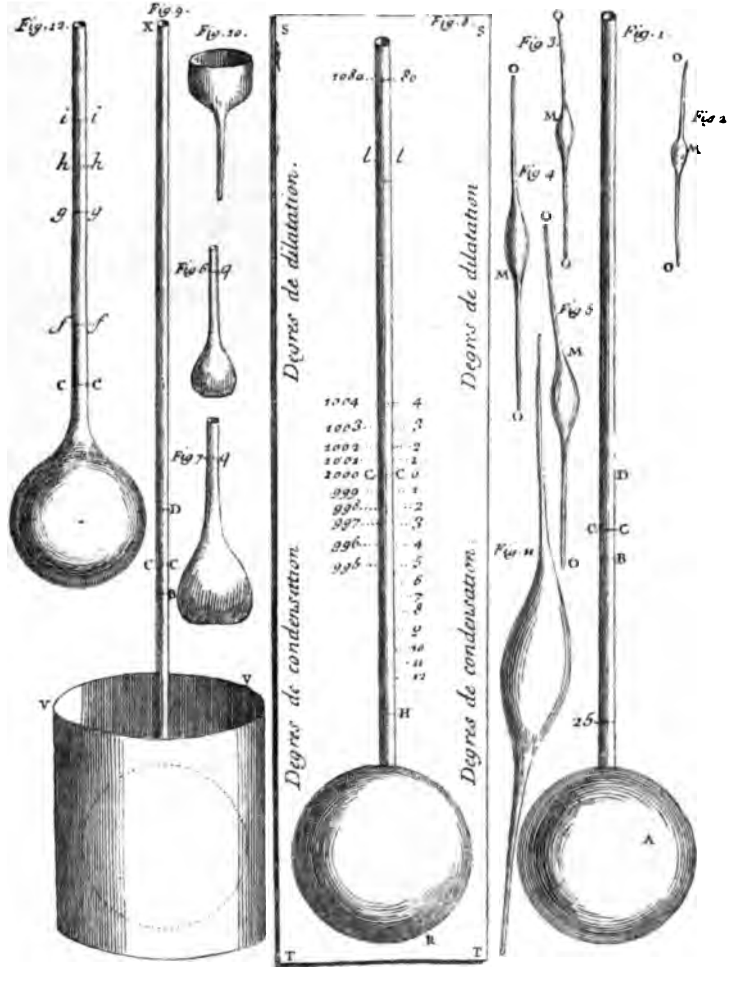


Fig. 282.

das Wasser ausgegossen und das Thermometer getrocknet, wobei es Réaumur für unbedenklich findet, wenn »eine gelinde Feuchtigkeit« in ihm zurückbleibt. Darauf wird soweit Weingeist in das Thermometer gegossen, dass er etwa 3 bis 4 Grade über dem Nullpunkt steht und das so gefüllte in das in Fig. 282 (Fig. 9) dargestellte Blechgefäß gesetzt, welches Wasser enthält. Um dieses zum Gefrieren zu bringen, stellt es Réaumur

in ein weiteres Gefäß und füllt den Zwischenraum zwischen beiden mit einer aus Eis und Salpeter, Salmiak oder Seesalz bestehenden Kältemischung. Das Wasser im Gefäße *VV* friert und wenn man glaubt, dass die herabgegangene Flüssigkeit im Thermometer ihren niedrigsten Stand erreicht habe, füllt man noch etwas zu oder saugt mit einem Kapillarrohre soviel ab, dass ihre Oberfläche mit der aufgetragenen Marke übereinstimmt. Darauf wird das obere Ende zugeschmolzen oder mit einem Kitte von Wachs und Terpentin verschlossen.

Lässt sich nun aus dem Gesagten bereits entnehmen, dass Réaumurs Vertrauen zu der Unveränderlichkeit der Erstarrungstemperatur des Wassers kein allzu großes war, so erhöht es die Achtung vor seinen Arbeiten keineswegs, wenn man weiter findet, dass er sechs Jahre nach Fahrenheits Veröffentlichung seiner Entdeckung der Überschmelzung und deren Ursachen für eine etwa vorhandene Veränderlichkeit jener Temperatur durch Einwirkung der Luft auf das erstarrende Wasser genug gethan zu haben glaubt, wenn er diese davon abhält. Wie überaus gering indessen seine Anforderungen an die Unveränderlichkeit der festen Punkte seiner Thermometer waren, beweist die Art, wie er deren Siedepunkte zu bestimmen suchte.

Dies mit Hilfe von rektifiziertem Weingeist zu thun, war wegen dessen niedriger Siedetemperatur nicht möglich. Er suchte also durch eine Mischung von Wasser und Weingeist eine Flüssigkeit von so hohem Siedepunkt zu erhalten, dass die Bestimmung des Siedepunktes des Wassers mit ihr vorzunehmen war. Auf direktem Wege ging das freilich nicht, denn der Siedepunkt einer jeden solchen Mischung blieb hinter der des Wassers weit zurück, aber auf einem Umwege glaubte er sein Ziel erreichen zu können. Er goss in einen Kolben mit engem Halse, den Fig. 282 (Fig. 12) darstellt, Weingeist bis *ff* und stellte ihn in ein Gefäß mit Wasser. Dieses Wasser erwärmte er so weit, dass der Weingeist anfing zu sieden. Das hörte aber sofort auf, wenn der Kolben aus dem Wasser gehoben wurde, der Weingeist nahm nun eine feste Stellung im Kolbenhalse ein, welche mit *gg* bezeichnet ist. Darauf stellte Réaumur den Kolben wieder in das Wasser und wiederholte den Versuch; da aus dem Kolben Alkohol verdampft war, so zeigte die zurückgebliebene Flüssigkeit nun einen höheren Siedepunkt. Nach Herausheben des Kolbens aus dem Wasser stellte sich nun die Flüssigkeit bis *hh*. So fuhr Réaumur fort, auch als das Wasser im äußeren Gefäße bereits ins Sieden gekommen war. Dann stand nach dem Herausnehmen die Flüssigkeit im Kolben bei *ii*, und erhob sich nun nicht weiter. So wollte der Pariser Akademiker den Gr[illegible]
einer Weingeistprobe bestimmen. Ebenso verfuhr [illegible]
meter, von dem die Skala entfernt und dessen ve[illegible]
einem Fädchen bezeichnet worden war, zur Best[illegible]
Er wiederholte diese Versuche zu verschiede[illegible]
lich zu dem Ergebnis eine Mischung von W[illegible]

geeignetsten zur Füllung der Thermometer zu erklären, deren Volumen beim Gefrieren des Wassers 1000 ist, beim Behandeln in der angegebenen Weise aber ein solches von 1080 aufweist. Acht Teile Ausdehnung auf je Hundert gebe ja eine bequem teilbare Zahl. Nimmt man also stets solchen Weingeist zur Herstellung der Thermometer, so erhält man Instrumente, deren Angaben vergleichbar sind.

Die Arbeiten Réaumurs weisen insofern einen Fortschritt gegen die seiner Vorgänger auf, als er das Thermometerrohr kalibrieren, die Ausdehnung der thermometrischen Substanz seiner Skala zu Grunde legen wollte. Von Bedeutung aber konnten diese Verbesserungen nicht werden, wegen der Unsicherheit der Lage der festen Punkte. Namentlich war die des Siedepunktes so unsicher, dass dessen Abhängigkeit vom Luftdruck bei seiner Bestimmung ganz außer acht bleiben konnte. Nimmt man dazu die geringe Empfindlichkeit der Réaumurschen Riesenapparate, so wird man nicht umhin können, des französischen Akademikers thermometrische Arbeit als in jeder Hinsicht verfehlt zu erklären. Leider wurde sein durch andere Leistungen berühmter Name Ursache, dass die Folgezeit sich auch an die minderwertigen unter ihnen hielt und so die sachgemäße Weiterbildung des so wichtigen Messapparates verzögert wurde. Dass Réaumurs thermometrische Untersuchungen auf einem ihm nicht vertrauten Gebiete lagen, beweisen die auch zu seiner Zeit höchst befremdlichen Anschauungen über den Druck der Flüssigkeitssäule und der Luft im Thermometer, die er auf die Autorität einiger Mitakademiker hin vortrug. So fehlte es denn auch nicht an Stimmen, welche sich gegen ihn erhoben. De l'Isle[1]) (1688—1768) war es, der 1736 den Hauptfehler des Réaumurschen Apparates, die Wiedereinführung des Alkohols durch Zurückgehen auf Fahrenheits Vorschlag der Verwendung des Quecksilbers als thermometrische Substanz auszumerzen suchte. Die Ausdehnung des flüssigen Metalles sei genügend groß, um die genauesten Beobachtungen zu gestatten. Er konnte jedoch mit diesem Vorschlage nicht durchdringen und noch weniger mit dem weiteren einer wenig zweckmäßigen neuen Skala, die den Siedepunkt mit 0 bezeichnen, den Raum zwischen ihm und dem Frierpunkt in 1000 Teile teilen wollte. Dagegen drang zwölf Jahre nach der Einführung der Réaumurschen Skala der Vorschlag des Schweden Celsius[2]) (1701—1744) durch, den Raum zwischen Eispunkt und Siedepunkt in 100 Teile zu teilen, jenen mit 0, diesen mit 100 zu bezeichnen, also die Bezeichnung einzuführen, die gegenwärtig für wissenschaftliche Messungen wohl ausschließlich im Gebrauche ist[3]).

[illegible] l'Isle, Philosophical Transactions. 1736. No. 441. S. 221.
[illegible] Abhandlungen der schwedischen Akademie. 1742. IV. Bd. S. 197.
[illegible]ker. Nr. 57. S. 117.
[illegible] Dissertation sur la Comparaison des Thermomètres. Amster-
[illegible]ömer als denjenigen, der die Bezeichnungen eingeführt
[illegible] vorgeschlagen hatte, und beruft sich dabei auf S. 154

Die Lehrbücher und Vorlesungsversuche.

1. 's Gravesande und Jan van Musschenbroek.

Newtons Principia philosophiae naturalis hatten die theoretischen Ergebnisse der Forschung seit Galilei systematisch zusammengefasst und erweitert. Es lag nahe, ähnliches für den experimentellen Teil zu versuchen und das Bedürfnis dazu war ein um so größeres, als auch auf diesem Gebiete eine Fülle von Material vorlag, welches auch bereits in akademischen Vorlesungen überliefert wurde. So entstanden fast gleichzeitig die Lehrbücher von 's Gravesande, van Musschenbroek und Desaguiliers. Sie unterscheiden sich von den Sammelwerken der früheren Zeit nicht nur durch die größere Menge der überlieferten Thatsachen, sondern hauptsächlich durch die völlig veränderte Stellung, welche das Experiment als Beweis- und Demonstrationsmittel angewiesen erhalten hat.

's Gravesande (1688—1742), von 1717—1742 Professor der Mathematik in Leiden, war wohl der erste, der das größte Gewicht auf die Herstellung von Demonstrationsapparaten legte. Er ließ solche in großer Anzahl von Jan van Musschenbroek, dem Neffen Samuels anfertigen und beschrieb und bildete sie in vorzüglichen Kupfern ab, welche eine Zierde seines Werkes Physices Elementa mathematica experimentis confirmata sive Introductio ad Philosophiam Newtonianam bilden, das in erster Auflage 1720, in zweiter 1725 und in dritter (unseren Nachbildungen zu Grunde gelegter) 1742 erschien. Die Apparate sind noch im physikalischen Kabinet zu Leiden in vorzüglicher Erhaltung vorhanden. Eine Anzahl Doubletten besitzt das Königliche Museum in Kassel, welche der Landgraf Karl von Hessen zur Zeit von Jan van Musschenbroek bezogen hat.

Die Arbeit Desaguiliers' hat den Titel: A Cours of Experimental Philosophy und erschien 1725 in London. Sie bringt eine Anzahl der Apparate 's Gravesandes, der ihrem Verfasser befreundet war. Hatte doch der holländische Physiker bei seinem Aufenthalte in London vielfach mit diesem zusammengearbeitet, hatte mit ihm, wie wir sahen, die Dampfmaschine Saverys dadurch verbessert[1]), dass sie anstatt zweier einen Cylinder erhielt. Desaguiliers hatte dann solche Maschinen gebaut, die

des 11. Bandes der Abhandlungen der schwedischen Akademie, wo indessen nach v. Oettingen (Ostwalds Klass. Nr. 57. S. 137) nur steht, dass die von Celsius, Strömer und Eckström verfertigten Thermometer jene Bezeichnung haben. Poggendorff (Pogg. Ann. 157. S. 351) hält van Swinden[illegible] [illegible]ichtig.

1) Desaguiliers, A cours of Experimental Philoso[illegible]
Bd. II. S. 108.

erste 1717 für den Garten Peters des Großen in Petersburg, ihre Beschreibung und die Schilderung ihrer Wirkung in sein Werk aufgenommen. Da er sich nun auch außerdem für Maschinen interessierte und solche ebenfalls in sein Buch aufnahm, so enthält sein Werk viel weniger Originalapparate, wie das 's Gravesandes.

Dasselbe gilt von dessen Kollegen an der Leidenschen Universität, von Pieter van Musschenbroek, dem Bruder Jans. Er hatte seinen Lehrstuhl von 1739 bis zu seinem Tode 1761 inne. Über seine Schriften soll weiter unten berichtet werden. Es war nicht zufällig, dass in den Niederlanden damals physikalische Lehrbücher in so reicher Zahl erschienen, denn das Interesse für die Physik war dort außerordentlich lebhaft. Eine Akademie hatte Holland zwar nicht aufzuweisen, dafür aber eine große Anzahl Gesellschaften in fast allen größeren Städten, die sich die Pflege der Physik, namentlich auch durch Abhalten von Vorträgen, angelegen sein ließ[1]). Solche hatte Desaguiliers mit großem Erfolge gehalten, und gerade diese hatten Musschenbroek zur Ausarbeitung der Beginsels angetrieben. Und nicht allein die reiche Entwickelung der Litteratur findet so ihre Erklärung, auch der Umstand, dass in den Niederlanden die erste wirkliche mechanische Werkstätte, eben die der Musschenbroeks entstand, deren Apparate die meisten anderen ihrer Zeit an Sauberkeit, Genauigkeit und Solidität übertrafen, erscheint als notwendige Folge jener Bestrebungen.

Wir wenden uns nun dazu, dieses und das vorher Gesagte durch Vorführung der von 's Gravesande stammenden Apparate des näheren darzuthun. Ihre Abbildungen dürfen wir dem 's Gravesandeschen Werke entnehmen, da die noch vorhandenen den ihm beigegebenen Kupfern völlig entsprechen. Wir begegnen in den Elementen der Physik einer Menge von Anordnungen zuerst, welche auch jetzt noch zum eisernen Bestande eines jeden noch so kleinen physikalischen Kabinets gehören.

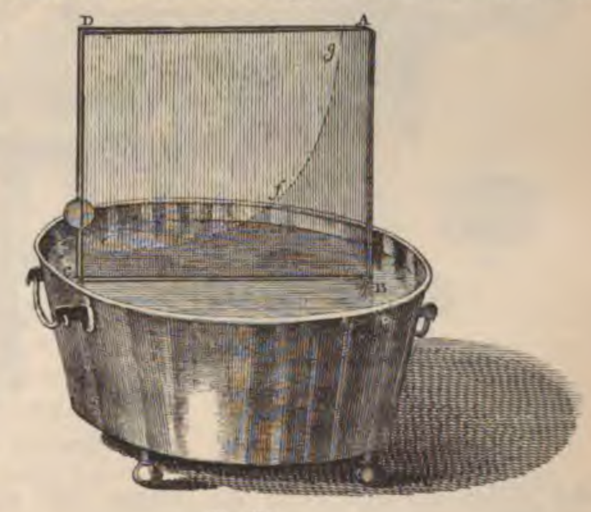


Fig. 283.

Fig. 283 und 284, S. 296, erläutern die Erscheinungen der Kapillarität, jene durch zwei

1) van Musschenbroek, Beginsels der Natuurkunde. Im Anfang der Vorrede.

Glasplatten mit keilförmigem Zwischenraum[1]), diese durch Anwendung eines kommunizierenden Rohres mit verschieden weiten Schenkeln.

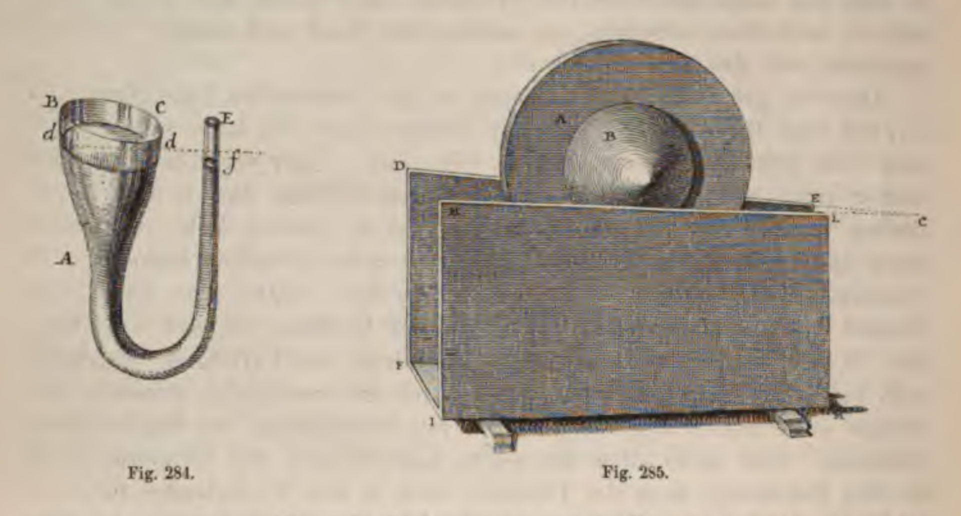


Fig. 284. Fig. 285.

Den erstgenannten Versuch hatte zuerst 1713 Hawksbee[2]) angestellt. 's Gravesande aber fand, dass die Kurve *efg* eine Hyperbel und wegen

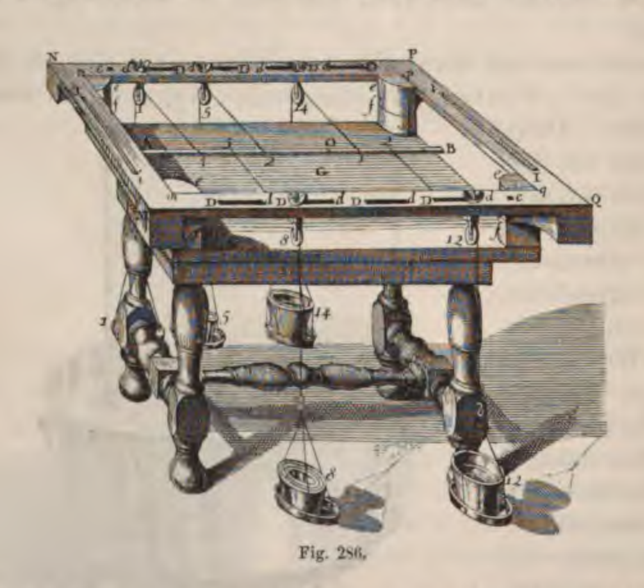


Fig. 286.

der rechtwinkeligen Form der Platten eine gleichseitige Hyperbel ist. Fig. 285 zeigt den Kegel, welcher scheinbar den Berg hinaufrollt[3]). Den

1) 's Gravesande, Physices Elementa. 3. Ed. [illegible] und 26.

2) Hawksbee, Philosophical Transactions. 1 [illegible]

3) *'s Gravesande*, a. a. O. S. 57.

Satz, dass für den Fall des Gleichgewichtes die Summe der statischen Momente Null sein muss, soll Fig. 286 beweisen. An den Rand $MNPQ$ des Tisches können Rollen angeschraubt werden, über welche die mit dem einen Ende an dem geteilten Stab AB befestigten, am anderen mit Wagschalen versehenen Schnüre gehen. Bei dem abgebildeten Versuche ist O der Mittelpunkt der Kräfte, nach Anweisung der beigesetzten Zahlen aber

$$+1.14 - 2.12 - 2.5 + 3.8 - 4.1 = O.$$

Es findet also Gleichgewicht statt und der Stab AB kann gegen MQ oder NP in eine beliebige seiner ursprünglichen parallelen Lage gebracht werden, ohne dass es gestört wird. Vom Gewichte der Wagschalen, welches natürlich berücksichtigt werden muss, wenn der Versuch gelingen soll, ist freilich nicht die Rede.

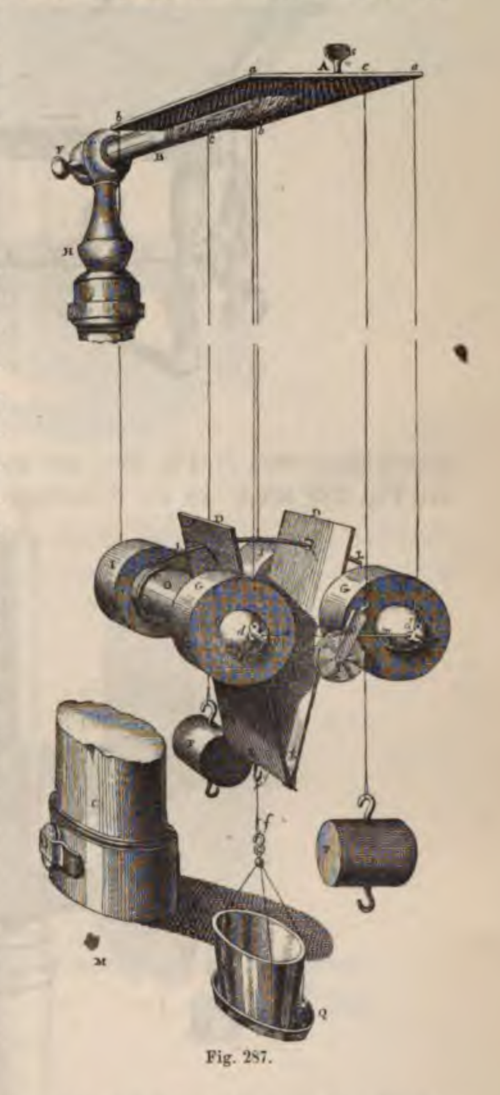


Fig. 287.

Die Gleichgewichtsbedingungen am Keil sind mittels des in Fig. 287 abgebildeten Apparates zu prüfen. Mit der nach einem Kreisbogen geformten Schraube LL und den Muttern i kann der Winkel, den die bei E durch Scharniere verbundenen Holzplatten DD bilden, geändert werden. Die Holzplatten werden von den Rollen IG getragen, die sie auseinander zu drängen suchen; die Achsen der letzteren hängen an Schnüren und werden durch die Gewichte P, die an den Rollen T wirken, mittels der Schnüre m und n zusammengedrängt. Der Keil zieht das Gewicht Q herab, und seine Größe in Verbindung mit der der Gewichte P lässt die Gleichgewichtsbedingung aufstellen. Das ganze wird von der auf dem Tische M befestigten Säule HC, deren oberster und unterster Teil nur gezeichnet ist, getragen[1]).

[1]) 's Gravesande, Physices Elementa. 3. Ed. T. I. S. 65.

Den Satz vom Parallelogramm der Kräfte bestätigt nach Anweisung von Fig. 288 ein zweiter Versuch mit dem bereits in Fig. 286 benutztem Tische[1]),

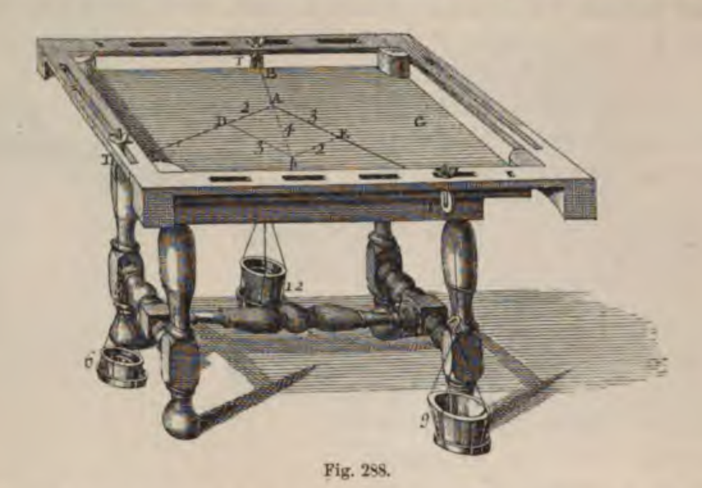


Fig. 288.

dessen Randnuten *Ii* (Fig. 286) nun auch benutzt werden, oder der Apparat, den Fig. 289 zeigt, wo die Nebenfigur die Ansicht von hinten giebt[2]). Für

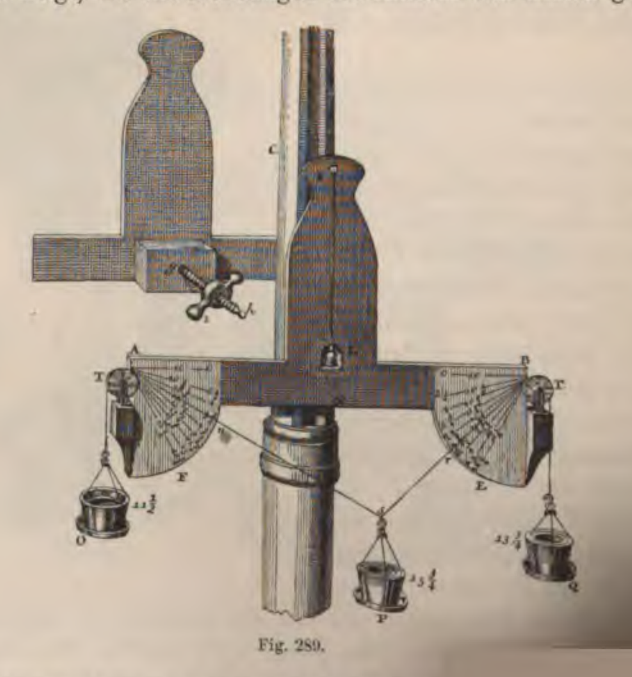


Fig. 289.

mehr als drei Kräfte lässt sich seine Richtigkei[illegible]

1) 's Gravesande, Physices Elementa. 3. Ed. [illegible]
2) 's Gravesande, a. a. O. T. I. S. 85.

nachweisen[1]). Dass ein eine horizontale Geschwindigkeit besitzender Körper, wenn er der Einwirkung der Schwerkraft ausgesetzt wird, eine Parabel



Fig. 290.

beschreibt, weist 's Gravesande mit dem in Fig. 291 abgebildeten Apparate nach[2]). Seine etwas massig und kompliziert ausgefallene Centrifugalmaschine

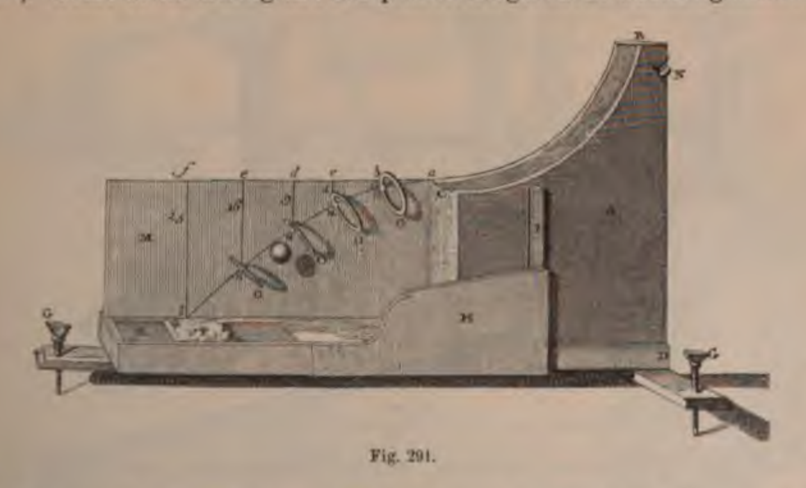


Fig. 291.

zeigt Fig. 292, S. 300. Zwei Objekte lassen sich gleichzeitig an ihr der Prüfung unterziehen, eine Anordnung die freilich, da sie nutzlos ist, später wieder fallen gelassen wurde. In ihren Einzelnheiten ist sie aber so schön durchgebildet, das Arbeiten mit ihr erfolgt mit so großer Sicherheit, dass

1) 's Gravesande, Physices Elementa. 3. Ed. T. I. S. 83.
2) 's Gravesande, a. a. O. T. 1., S. 145.

sie wohl verdient, der Vergangenheit entrissen zu werden[1]). Auch die Stoßgesetze weist 's Gravesande eingehend auf experimentellem Wege nach. Doch müssen wir hier von der Darstellung der diesem Zwecke dienenden Apparate absehen.

Nicht geringere Sorgfalt hat der Leidener Professor auf die Apparate zur Demonstration des »hydrostatischen Paradoxons« verwendet. Dass die Versuche bei den neueren zu diesem Zwecke konstruierten Apparaten, welche

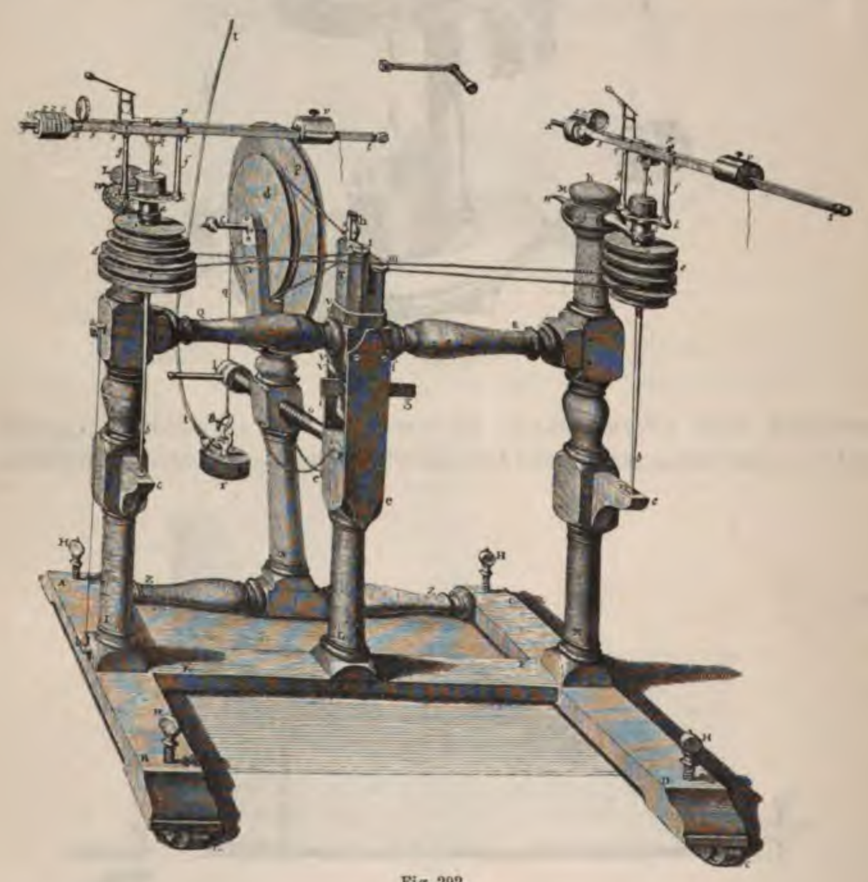


Fig. 292.

auf denselben Grundsätzen beruhen, so häufig misslingen, hat seinen Grund in der ungenügenden Dichtung oder der für das angewendete Wassergewicht zu großen Reibung. Beide Unzuträglichkeiten sind von 's Gravesande durch Anwendung möglichst großer Wassermengen vermieden worden[2]). Fig. 293 und 294 zeigen den vollständigen Apparat mit den beiden verschiedenen Wassergefäßen F und N. Die Einrichtung des Ventils bei A

1) 's Gravesande, Physices Elementa. 3. Ed. T. I. S. 153.
2) 's Gravesande, a. a. O. T. I. S. 407 ff.

ist in ihren einzelnen Teilen in Fig. 295 angegeben. *A* ist ein sorgfältig ausgeschliffenes Messinggefäß, über welches der Arm *B* mit der Öffnung *m*

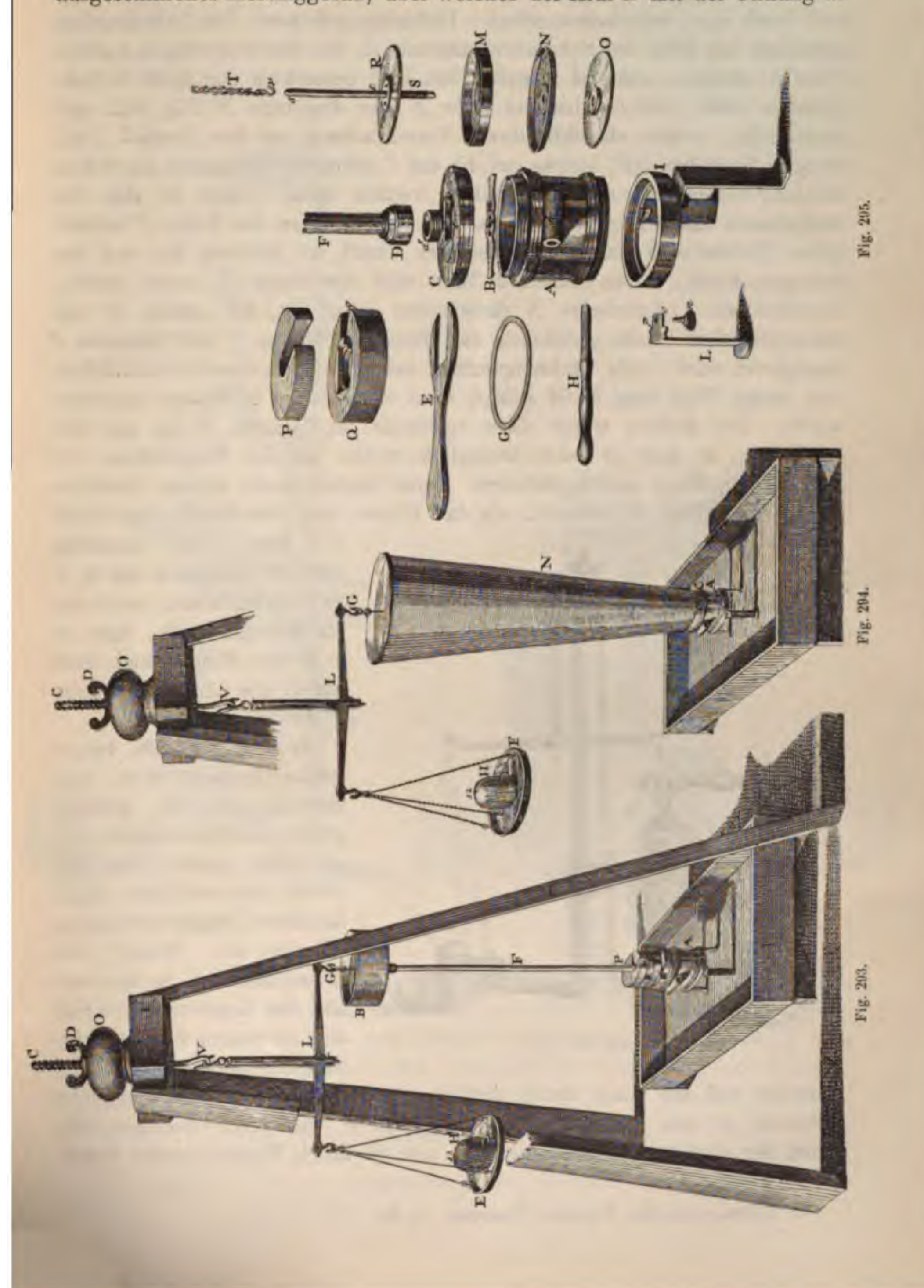


Fig. 293.

Fig. 294.

Fig. 295.

zur Aufnahme des cylindrischen Stabes *st* gelegt wird. Seine Enden passen in zwei Lücken des oberen Randes. Auf *A* wird der Deckel *C* geschraubt und durch einen dazwischen gelegten Lederring gedichtet. Das Aufschrauben geschieht mit Hilfe des Schraubenschlüssels *E*, der den viereckigen Aufsatz *e* auf *C* umfasst, während *A* durch den in *h* gesteckten Handgriff *H* festgehalten wird. Auf *C* wird das Rohr *F* oder dasjenige *N* (Fig. 292) aufgeschraubt, *A* aber ebenfalls durch Verschraubung auf den Dreifuß *I* befestigt. Gewichte *QP*, welche auf die auf *C* gebrachte Holzplatte geschoben werden, verhindern, dass *A* gehoben werden kann. Dafür ist aber die Möglichkeit dadurch gegeben, dass in *A* sich ein an der Kette *F* befindlicher Kolben oder ein daran befestigtes Ventil mit Reibung hin und her bewegen kann. Seine einzelnen Teile sind die Platte *R*, unter welche, nachdem die Lederscheibe *N* dazwischen gelegt ist, die andere *M* mit übergreifendem Rande geschoben und durch die Mutter *O* und Schraube *S* angepresst wird. Als Dichtungsmittel nahm 's Gravesande Kalbsleder, was einige Tage lang in Öl gelegt, dann ebensolange in Wasser maceriert wurde. Der Kolben wurde dann mehrmals im Cylinder *A* hin und her geschoben, so dass er leicht beweglich wurde, an den Wagebalken *LG* (Fig. 293) gehängt und äquilibriert. Dann wurden soviel weitere Gewichte in die Wagschale *E* gebracht, als das Wasser wog, welches in das Gefäß *FB* kam. Das nämliche Gewicht hielt auch das in *N* im Gleichgewicht, wenn dafür gesorgt wurde, dass es in beiden Fällen gleich hoch stand. Die Länge des Rohres *F* betrug 32 Zoll.



Fig. 296.

Der in Fig. 296 dargestellte Apparat dient zum Beweis, dass der Auftrieb gleich dem Bodendruck, dieser aber gleich dem Gewichte des von dem eingetauchten Körper verdrängten Wassers sei. Wurde[1]) der Holzcylinder *G* in das mittels des Kupferringes *ee* an den einen Arm der Wage ge[illegible]en Gefäßes mit Wasser getaucht und die Wage durch Auflegen des [illegible] P zur [illegible]len gebracht, so war sie nach Wegnahme von wenn der eingetaucht gewesene Teil ·

1) 's Gravesande, Physices El

Den Nachweis für die Richtigkeit des Archimedischen Prinzips führte 's Gravesande in der nämlichen Weise, wie wir es jetzt auch noch thun. An eine Schale der Wage, Fig. 297, welche mit Hilfe des Gewichtes P und der das Joch B tragenden Schnüre in passender Höhe aufgestellt werden konnte, hing er den hohlen Messingcylinder N, in den der massive, darunter angebrachte Cylinder R genau eingeschliffen worden war, brachte die Wage mittels der Gewichte X ins Gleichgewicht und tauchte dann R in ein Gefäß mit Wasser. Das gestörte Gleichgewicht wurde dadurch wieder hergestellt, dass N voll Wasser gegossen wurde [1]).

Die Größe des Auftriebs zeigte 's Gravesande mit Hilfe des in Fig. 298 dargestellten Apparates, also

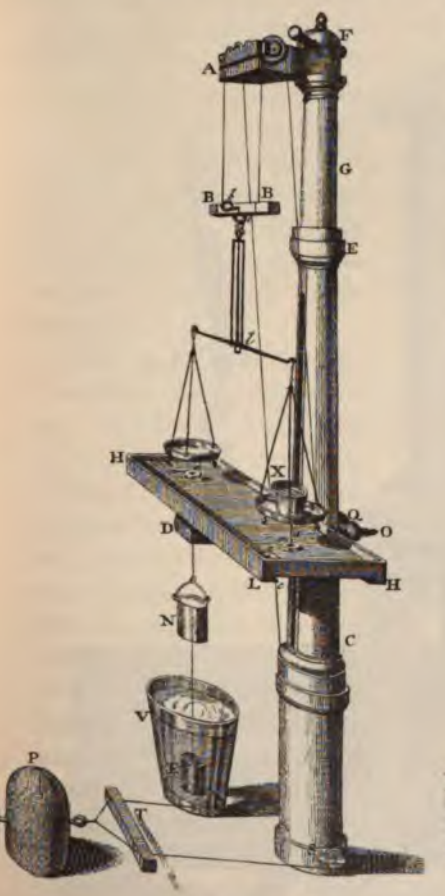


Fig. 297.

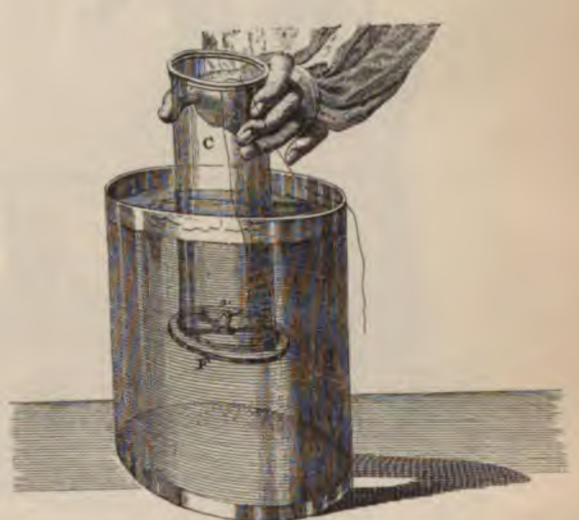


Fig. 298.

auch genau in derselben Weise, wie dies auch jetzt noch geschieht [2]). Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten bediente sich damals Hawksbee [3]) bereits des nämlichen Apparates, den in wenig veränderter Form der Chemiker auch jetzt noch zu diesem Zwecke benutzt.

ʼavesande, Physices Elementa. 3. Ed. T. I. S. 424.
ıvesande, a. a. O. T. I. S. 426.
ıld, Theatrum machinarum hydrotechnicarum. 1724. S. 33. Tab. II.

Er hing an das Häkchen unter der einen an kurzen Schnüren hängenden Wagschale einer gewöhnlichen Wage eine Schrot enthaltende geschlossene Glaskugel und ließ sie in die zu untersuchende Flüssigkeit tauchen. Dass die Wagen damals aber bereits recht vollkommen waren, beweist die Beschreibung der einzelnen Teile der damals gebräuchlichen, wie sie Leutmann[1]) (1667—1736) giebt.

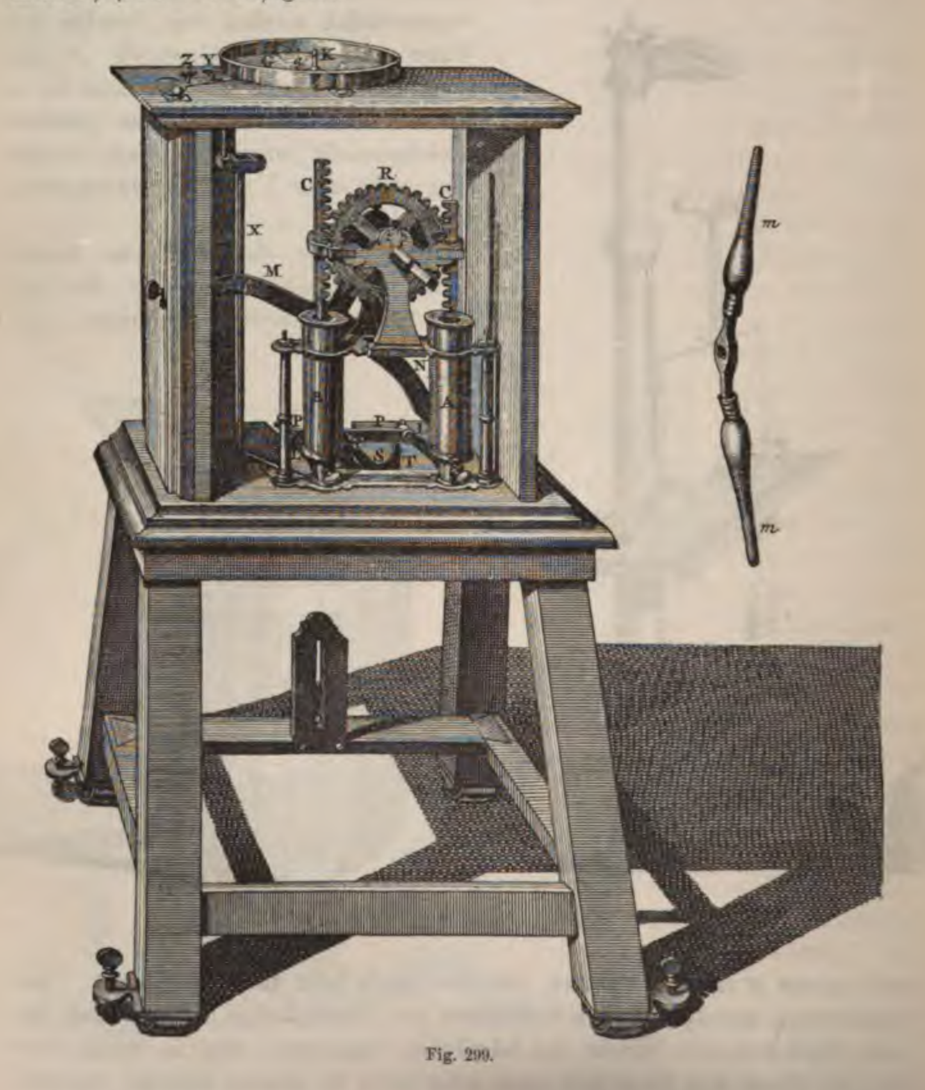


Fig. 299.

's Gravesandes Luftpumpe, welche in Fig. 299 vorgeführt wird, ist eine zweistiefelige Hahnluftpumpe, d nen versehene Kolbenstangen von einem Getriebe

1) Leutmann, Commentarii

des Getriebes sitzt das ⊥ förmige Stück, welches, sich mit der Kurbelachse hin und her bewegend, die doppelt durchbohrten Hähne hin und her wirft, so dass sie mit dem Auf- und Niedergehen des Kolbens zugleich richtig gestellt werden[1]). Sie wurde in entsprechend abgeänderter Weise auch mit einem Stiefel hergestellt und bedeutet, was die Bequemlichkeit und die Solidität der Arbeit anlangt, gegen die früheren einen bedeutenden Fortschritt[2]).

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme zeigte die erkaltend durch den Ring fallende Kugel, auf welchem sie stark erwärmt liegen bleibt[3]). Die Äolipile trieb, auf ein Gestell mit Rädern gesetzt, erhitzt dieses fort, ein Apparat, den man einen Dampfwagen nennen könnte[4]). Die Maschine zur Erzeugung von Elektrizität zeigt Fig. 300, eine luftleer gemachte Glaskugel, die, in rasche Drehung versetzt, sich an der aufgelegten Hand reibt. Die so erregte Elektrizität bewirkt, dass sich die in der Mitte an einem Drahtbügel befestigten oder im Innern an einer sich mit der Kugel drehenden Scheibe sitzenden Fäden

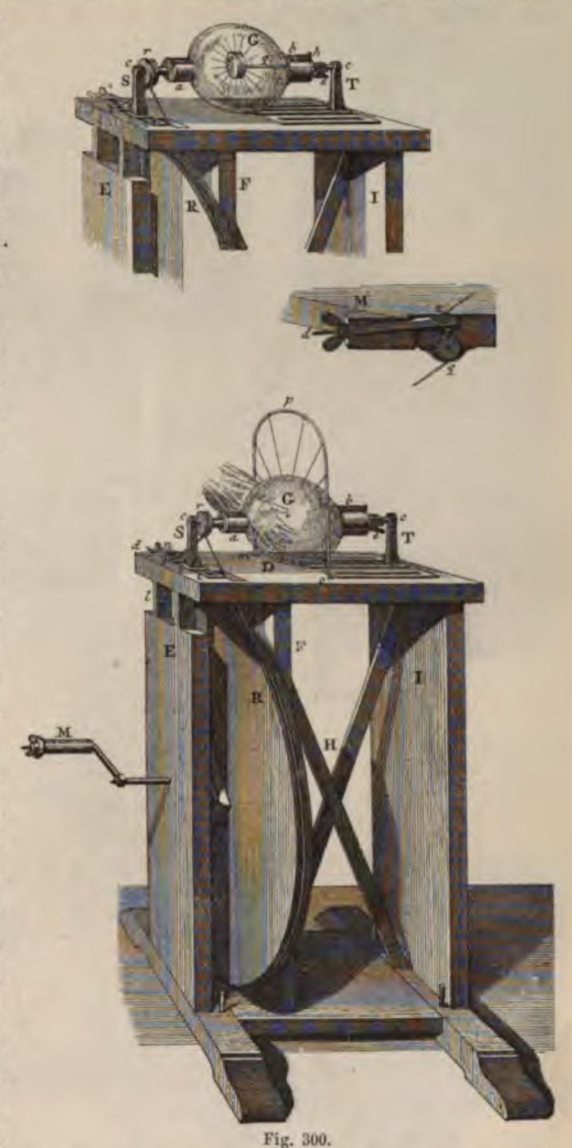


Fig. 300.

1) 's Gravesande, Physices Elementa. 3. Ed. T. II. S. 589.

Sie wurde von Jan van Musschenbroek in einer besonderen Schrift: Be- der nieuwe Soorten van Luchtpompen, zoo dubbelde als enkelde, Leyden und abgebildet, wobei der Mechaniker sie ausdrücklich eine Erfindung les nennt.

esande, a. a. O. T. II. S. 661.

esande, a. a. O. T. II. S. 663.

gegen sie richten[1]). Fig. 301 sollte die verschiedene Wärmeleitungsfähigkeit der Körper erkennen lassen. *A* ist ein Holzcylinder, *B* ein solcher aus

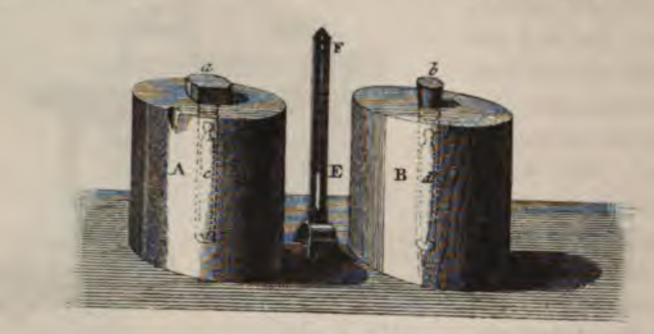


Fig. 301.

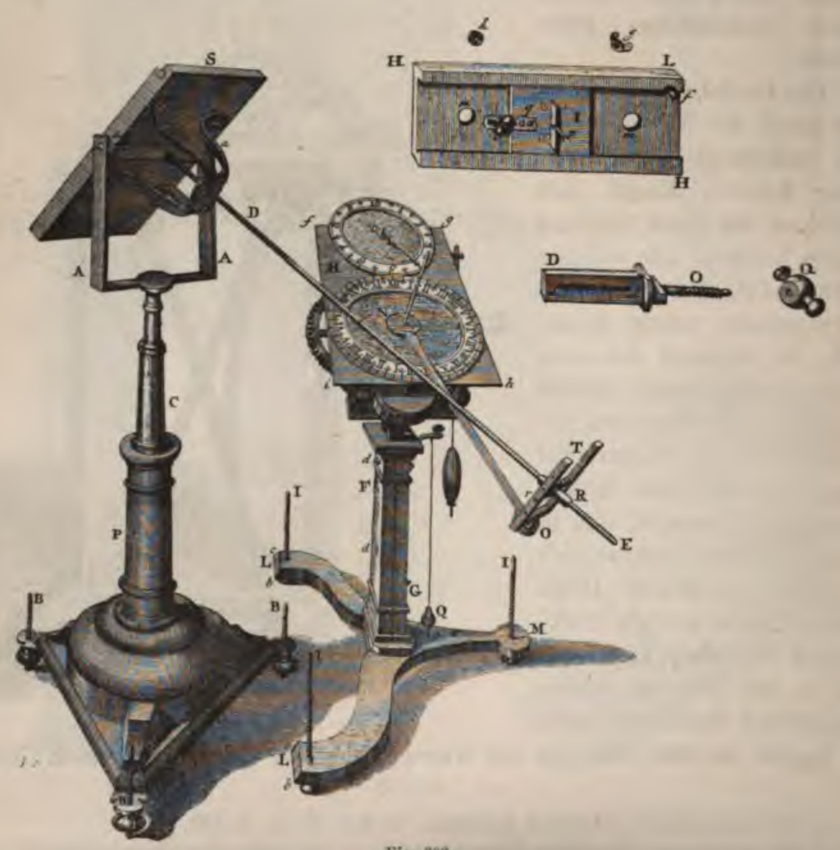


Fig. 302.

Marmor, in beide sind Löcher gebohrt u zwei Thermometer *c* und *d* gesetzt, während ein drittes The ftemperatur

1) *'s Gravesande*, Physices El

angiebt. Ihren Schwankungen folgt d viel rascher wie c. EF ist das S. 247 erwähnte, von Fahrenheit verfertigte Instrument[1]).

Den Schluss des 's Gravesandeschen Werkes bildet die Optik. Seinen noch jetzt sehr brauchbaren Heliostat zeigt Fig. 302. Die der Erdachse parallele Achse des Armes NO dreht die Welle DE, diese den Spiegel, der sich zugleich um die Achse aa drehen muss[2]). Mit Hilfe des Heliostaten stellte der Leidener Professor im Dunkelzimmer die in damaliger Zeit üblichen Versuche an. Fig. 303 giebt die Art wieder, wie er die

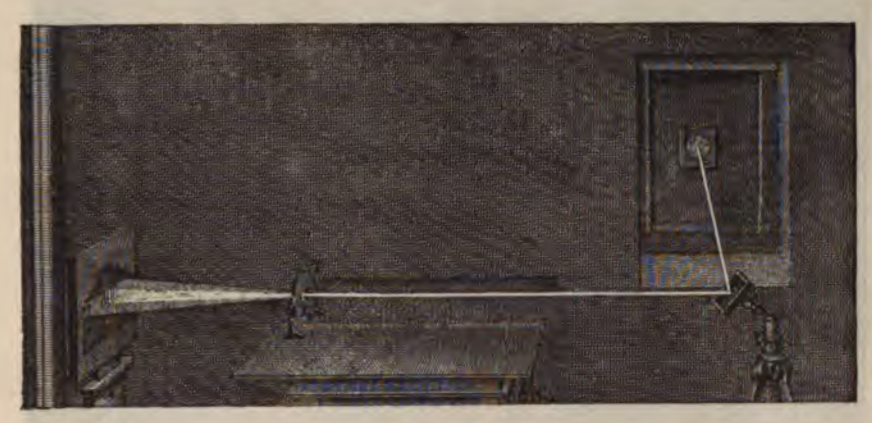


Fig. 303.

Beugung des Lichtes nachwies. Die Schneiden des zweiten Spaltes T können mittels der Schrauben I genähert und wieder von einander entfernt werden[3]). Auch der Gang der durch Linsen gesammelten und zerstreuten Strahlen, der Lichtstrahlen in Fernröhren u. s. w. wurde im Dunkelzimmer gezeigt. Die Linsen befanden sich in Glaskästen, wie dies aus Fig. 304 ersichtlich ist, welche die Art darstellt, die Wirkung einer Sammellinse zu zeigen[4]). Dass 's Gravesande Newtons Versuche wiederholte, bedarf wohl kaum der Erwähnung. In Fig. 305, S. 308, sei nur noch die Art, wie er den Regenbogen experimentell darstellte, vorgeführt[5]).



Fig. 304.

1) 's Gravesande, Physices Elementa. 3. Ed. T. II. S. 682.
2) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 731.
3) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 728.
4) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 763.
5) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 915.

2. Desaguiliers und Pieter van Musschenbroek.

Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass im Gegensatze zu dem Werke 's Gravesandes, das von Desaguiliers viel weniger Originalapparate enthält, dafür aber ausführlicher auf die technischen Anwendungen

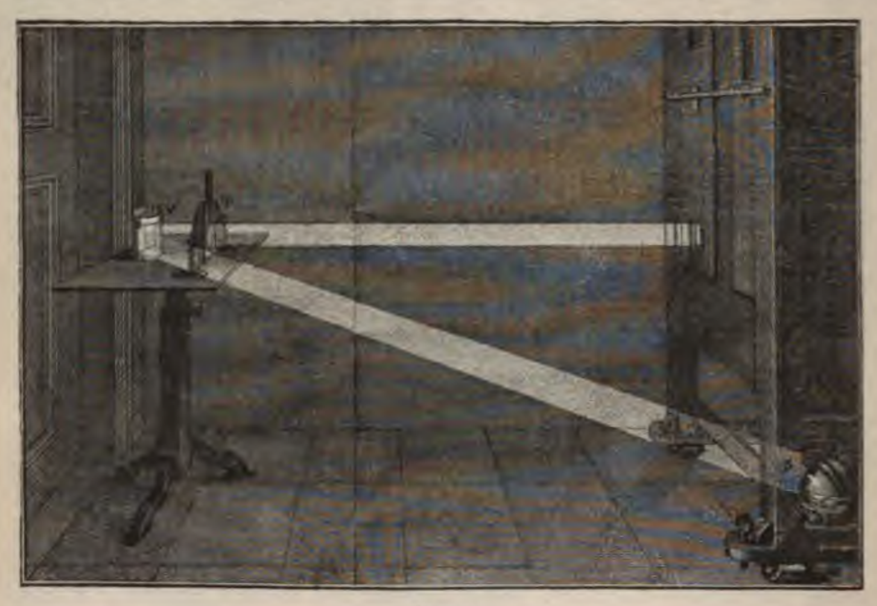


Fig. 305.

der Physik eingeht, von denen 's Gravesande nicht redet. Es ist von Interesse, den Fortschritten nachzugehen, die diese seit Papins Arbeiten aufweisen oder vielmehr — und Nichts lässt mehr erkennen, wie unbekannt sie den Zeitgenossen geblieben waren — nicht aufweisen.

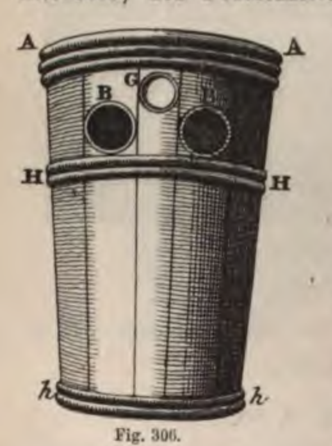


Fig. 306.

Dem Papinschen Taucherschiffe ähnlich ist der in Fig. 306 dargestellte Apparat, den in den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts der Kapitän Rowe konstruiert hatte, um die in einigen Wracks an der schottischen Küste noch vorhandenen Güter zu bergen. Es ist eine Tonne Ah mit zwei Öffnungen BB, aus denen der Arbeitende seine mittels lederner Ärmel wasserdicht abg
ausstreckte, während
befindliches Glasfens
seinen Atem hervorgerufenen Beschlag mit der
den Meeresboden zu beobachten erlaubte. Die

zeigt, an zwei Tauen C und D und war mit dem sie tragenden Schiffe durch eine Leine BL verbunden, mit deren Hilfe der Arbeitende Signale geben konnte. Der Rauminhalt der Tonne war der eines Oxhofts, die sie erfüllende Luft wurde mit dem Taucher abgeschlossen und es sollte dieser damit, wie Desaguiliers meint, eine ganze Stunde unter Wasser aushalten können[1]. Daran war natürlich nicht zu denken, und so stand dieser Vorschlag weit hinter dem in Papins Taucherschiffe verwirklichten zurück.

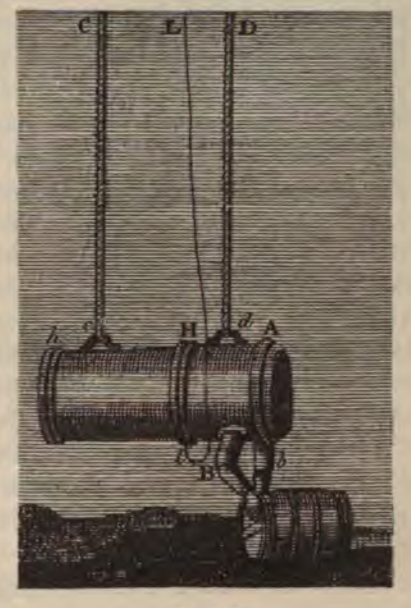


Fig. 307.

Den offenbaren Fehler, der in dem Mangel an Lufterneuerung lag, vermied Halley (1656—1714) bei der Ausführung seiner Taucherglocke, die in Fig. 308 dargestellt ist[2]. Der glockenförmige Apparat hat inwendig eine Bank, welche das von unten eindringende Wasser, da er mit Luft ge-

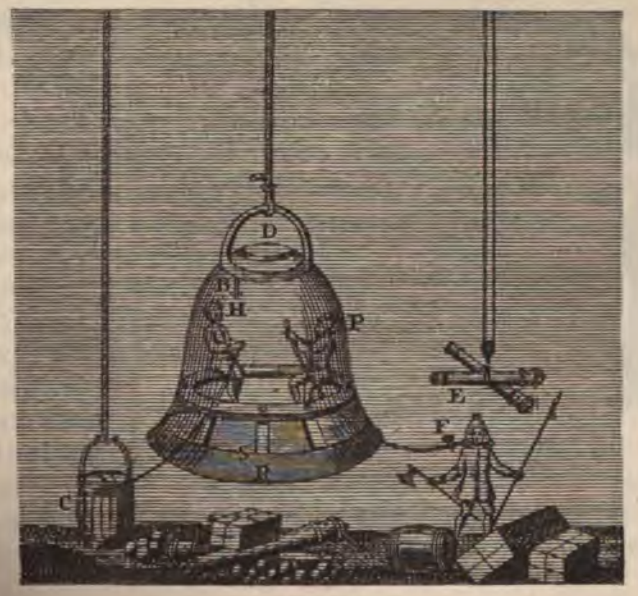


Fig. 308.

t erreichen kann. Bei D ist eine Glasplatte eingesetzt,

a. a. O. Vol. II. S. 269.
O. Vol. II. S. 270.

durch welche bei ruhiger See reichlich Licht in die Glocke fällt. Neben der Glocke befindet sich ein unten offenes Oxhoftfass *C*, welches, abwechselnd aufgezogen und, wieder mit frischer Luft gefüllt, herabgelassen wird. Damit diese in die Glocke eindringen kann, lässt man einen Teil der in ihr vorhandenen verbrauchten Luft vorher durch den Hahn *B* entweichen. Ein Taucher kann von der Glocke aus sich auf den Meeresboden begeben; er erhält dann Luft aus der Glocke mittels eines Schlauches, welcher unter eine wasserdicht schließende Haube führt. Aus ihr kann er Luft herauslassen, neue aus der Glocke hereinziehen. Bei einer Länge von 50 bis 100 Yards gab Halley diesem Schlauche eine Weite von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll. Gegen den Wasserdruck hielt ihn ein eingelegter Spiraldraht aus Messing offen. Der Schlauch bestand aus gegerbtem Leder und wurde durch übergezogene Schafdärme dicht gemacht. Wollten die Insassen der Glocke Mitteilungen zu der Bemannung des sie tragenden Schiffes gelangen lassen, so ritzten sie solche mit einem eisernen Griffel in eine Bleiplatte, welche sie auf die Tonne *C* legten. Von oben erhielten sie auf dieselbe Weise Nachrichten, die durch Hämmern der Platte leicht wieder verwischt werden konnten, um für andere Raum zu schaffen. Gefundene Gegenstände wurden an Tauen, wie dies bei *E* zu sehen ist, emporgezogen.

Aber auch einen Taucheranzug, wie sie neuerdings, freilich in vollkommenerer Form, verwendet werden, hatte man damals bereits im Gebrauche. Ihn zeigt Fig. 309. Er bestand[1]) aus einem aus zwei Stücken zusammengesetzten kupfernen Harnisch mit zwei kleineren Öffnungen *B* zum Durchstecken der Arme, und einer größeren *F*, durch die die Beine heraustraten. Arme und Beine steckten in ledernen Hülsen, die an den Ringen *B* und *F* befestigt wurden. Vor dem Gesichte befand sich eine nach außen gewölbte Glasplatte *G*. Zu beiden Seiten des den Kopf bergenden Teiles des Harnisches waren Messingröhrchen angebracht und an diese Schläuche angeschraubt, die an der freien Luft mündeten. Mittels eines Taues gab der Taucher Zeichen, doch konnten diese Harnische nur bei geringer Tiefe verwendet werden; in größerer wurde der Druck, den der Taucher, und namentlich seine Beine auszuhalten hatten, zu groß. Da aber die Stellen, an denen die Wracks lagen, meist geringe Tiefe hatten, so konnten diese Anzüge häufig benutzt werden. So wurden um 1700, wie Desaguiliers hörte, vierzehn Berechtigungen zur Herstellung solcher erteilt.



Fig. 309.

Allen diesen Konstruktionen muss der Vorwurf gemacht werden, dass für eine gesicherte Luftzuführung nicht gesorgt war. Hätten ihre Verfer-

1) *Desaguiliers*, a. a. O. Vol. II. S. 269.

tiger Papins Arbeiten gekannt, so hätten sie, sollte man meinen, dafür gesorgt, die Luft mit Hilfe von Druck- oder Centrifugalpumpen ab- und zuzuführen, um so mehr, als Desaguiliers selbst Centrifugalpumpen für den technischen Gebrauch baute, freilich ohne dass er Papin als deren Erfinder genannt hätte[1]). Das von Triewald[2]) in die Glocke gelegte spiralförmige Rohr, aus der der Taucher die Luft einatmen soll, während er sie in die Glocke ausatmet, konnte zwar die Luft in Cirkulation bringen, doch in so geringem Maße, dass die so erreichte Verbesserung von nur geringer Bedeutung war.

Auf Desaguiliers' Beschreibung der Dampfmaschinen und die Verbesserungen, die er an ihnen anbrachte, einzugehen, haben wir bereits Gelegenheit genommen[3]).

Pieter van Musschenbroek hat drei Lehrbücher geschrieben; das erste in lateinischer Sprache 1734 unter dem Titel: Elementa physices veröffentlichte war zum Gebrauche seiner Zuhörer bestimmt. Bei der ausgebreiteten Beschäftigung mit der Physik seitens vieler Liebhaber, die des Lateinischen nicht mächtig waren, wurde er vielfach angegangen, es ins Holländische zu übersetzen. Dazu hatte er freilich keine große Neigung, und er entschloss sich erst dann dazu, auf diese Wünsche einzugehen, als er gewärtig sein musste, dass andere einzelne Abschnitte seines Buches übersetzten und veröffentlichten. So unternahm er die Herausgabe seiner Beginsels der Natuurkunde, welche 1739 in Leiden erschienen[4]). Später verfasste er noch ein ausführliches Lehrbuch in lateinischer Sprache, die Introductio ad Philosophiam naturalem, die aber erst 1762, ein Jahr nach seinem Tode, von Lulofs herausgegeben wurde.

Geben uns so die Lehrbücher vom Anfange des vorigen Jahrhunderts einen Überblick über den Umfang der damaligen Physik, so lassen sie uns auch erkennen, welch' ein ausgebreitetes Interesse, namentlich auch in Laienkreisen, unserer Wissenschaft entgegengebracht wurde. Dieses kam der aufblühenden mechanischen Kunst zu gute, die, wie wir sahen, Dank den Arbeiten der Musschenbroeks wohl am weitesten in Holland, nächstdem in England, fortgeschritten war. Aber auch die Pariser Werkstätten, sowie die von Leupold in Leipzig leisteten Tüchtiges.

's Gravesande hatte sich damit begnügt, Apparate zur Erläuterung des vorhandenen Wissenschatzes zu erdenken, Desaguiliers und Pieter van Musschenbroek stellten außerdem auch Versuche zu seiner Erweiterung an. In demselben Sinne waren eine Reihe anderer Forscher thätig, deren Arbeiten wir nun kennen lernen müssen. Wir werden am besten zuerst die den Fortschritten in Mechanik und Wärme dienenden, dann die meteorologischen

1) Desaguiliers. Philosophical Transactions. 1735. No. 437. S. 41 und No. 463. S. 65.

2) Desaguiliers, A Cours of experimental Philosophy etc. V. II. S. 278.

3) Desaguiliers, a. a. O. T. III. S. 80ff.

4) Musschenbroek, Beginsels etc. Voorreden.

und optischen betrachten, um endlich auf das Hauptarbeitsfeld des vorigen Jahrhunderts, auf das Gebiet der elektrischen Erscheinungen einzugehen.

Mechanik und Wärmelehre um die Mitte des 18. Jahrhunderts.

So schön die 's Gravesandesche Luftpumpe erdacht, so solide ihre Ausführung durch Jan van Musschenbroek auch war, so ist sie doch wohl nur wenig verwendet worden. Ja, es ist die Frage, ob außer den im physikalischen Kabinett zu Leiden und dem Königlichen Museum zu Kassel noch vorhandenen andere hergestellt worden sind. Beliebter war die Senguerdsche Konstruktion, welche gleichfalls die Musschenbroeksche Werkstatt lieferte. Noch häufiger aber dürfte die von Hawksbee[1]) angegebene Luftpumpe verfertigt worden sein, welche in Fig. 310 abgebildet worden ist. Sie bot große Bequemlichkeit durch die Art, wie der Teller l und die Barometerprobe lm angebracht waren. Wie Papins letzte Konstruktion war sie eine Ventilluftpumpe und die Anordnung der Stiefel war die nämliche wie bei der genannten oder der 's Gravesandeschen.

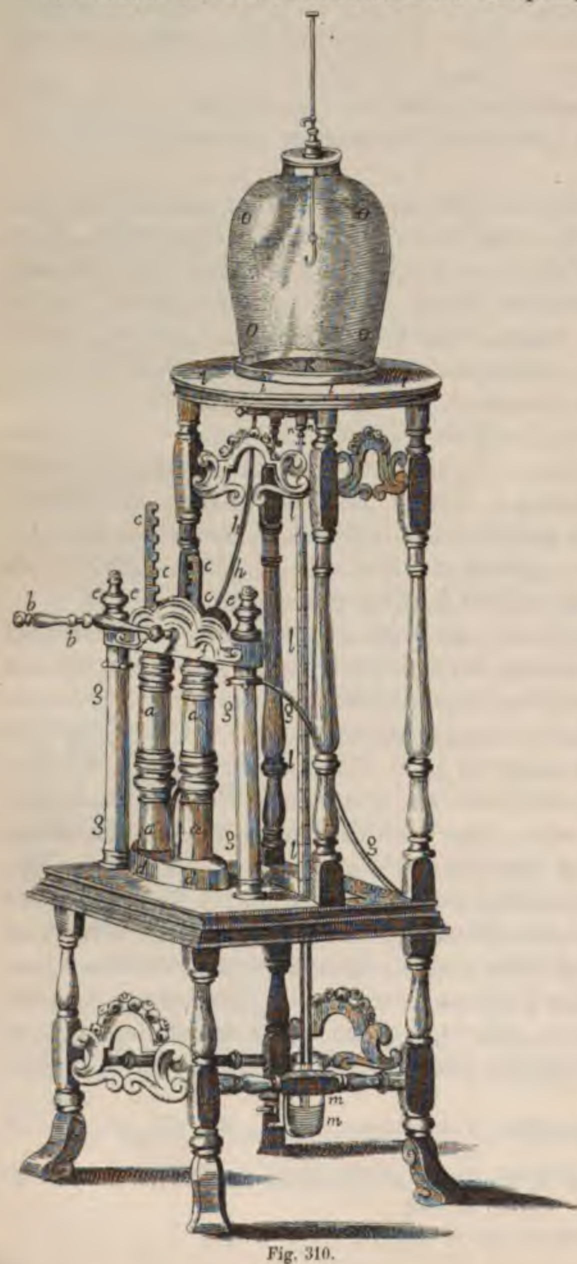


Fig. 310.

1) Hawksbee, Experimenta physico-mechanica. Londini 1709.

Mit dieser Luftpumpe hat Hawksbee seine mannigfaltigen Versuche angestellt, von denen wir nur den durch Fig. 311 erläuterten erwähnen. Es war der Versuch, der zuerst das Leuchten des im luftleeren Raume auf Glas fallenden Quecksilbers zeigte. Aus dem oberhalb des Rezipienten angebrachten kleinen Gefäße fiel es heraus und auf das in ihm aufgestellte, oben geschlossene weite Glasrohr, von da dann in leuchtenden Tropfen herab.

Leupold[1]) bot die Hawksbeesche Luftpumpe seit 1713 an; doch baute er auch Senguerdsche Maschinen[2]). Im Laufe der Zeiten blieb die erstere ungeändert, nur brachte Smeaton[3]) (1724—1792) im Jahre 1752 einen Hahn an ihr an, dessen Drehung sie auch als Kompressionspumpe zu benutzen gestattete. Aber auch die älteren Konstruktionen blieben noch länger im Gebrauche, wie denn noch 1740 Nollet[4]) (1700—1770) sich einer Papinschen Luftpumpe letzter Konstruktion bediente, als er das Auftreten des Nebels im Rezipienten beim Beginne des Pumpens zu erklären suchte. Man glaubte damals in dem zur Dichtung der Kolben u. s. w. verwendeten weichen Leder die Ursache der Erscheinung sehen zu müssen. Nollet war anderer Ansicht. »Die frisch eingeschlossene Luft«, meint er[5]), »muss wie eine Probe der Atmosphäre betrachtet werden; die Masse, von der sie ein Teil ist, ist durchaus kein einfacher Körper, sie ist bekanntlich ein mit fremden Teilen beladenes Fluidum, die sich in ihm im Verhältnisse seines Volumens befinden. Die kleinen fremden Körperchen, welche ich als die nächste Ursache des Staubes betrachte, sind also in dem Rezipienten vorhanden«. Nollet sah also als Träger des Niederschlages, den er freilich in wenig bestimmter Weise als Ursache des Staubes ansieht, die Luft selbst an und beseitigte die Annahme vom Einflusse des Leders.


Fig. 311.

Ein anderer Versuch, den Nollet[6]) ausführte, beweist uns, dass Newtons Verzicht auf jede Erklärung der Schwerkraft keineswegs allgemein angenommen war. Um die Widersprüche, welche Cartesius' und Huygens' Erklärungen dieser Kraft ergaben, zu beseitigen, hatte Bulfinger die Hypothese aufgestellt, dass die zu ihrer Erklärung herangezogenen Wirbel nur Bewegungen um zwei zueinander senkrechte Achsen, die eine ein Äquatordurchmesser, die andere die Verbindungslinie der Pole

1) Leupold, Acta Eruditorum. 1713. S. 95.
2) Cöster und Gerland, Beschreibung der astr., geod., physik. Apparate. S. 41.
3) Smeaton, Philosophical Transactions. 1752. Vol. 47. S. 415.
4) Nollet, Mémoires de l'Acad. Française. Paris 1740. S. 385.
5) Nollet, a. a. O. S. 243.
6) Nollet, Leçons de Physique éxperimentale. Paris 1743. S. 77. T. II. Pl. 5. Fig. 24.

seien. Um diese Annahme zu prüfen, stellte Nollet einen Apparat her, dessen wichtigster Teil eine Kugel war, welche gleichzeitig um zwei zueinander senkrechte Achsen in Rotation versetzt werden konnte. Sie wurde mit Wasser gefüllt, das an dieser doppelten Bewegung teilnehmen sollte. Das that es nun freilich nicht und konnte es auch, wie Nollet wohl einsah, nicht, so dass der Versuch ergebnislos blieb.

Von geringer Bedeutung sind diese Arbeiten; sie zeigen, dass die Schaffungskraft auf physikalischem Gebiete fast ganz verloren war. Man kommt zu demselben Schlusse, wenn man die Fortschritte der technischen Anwendungen der Physik betrachtet. Das Interesse an ihnen schien fast ganz geschwunden. Nur einer von La Hire, dem jüngeren[1], 1716 angegebenen, kontinuierlich wirkenden Pumpe, die zwei Eingangs- und zwei Austrittsröhren oben und unten besaß und mit den entsprechend wirkenden Ventilen versehen war, der Verbesserung des Wassergebläses durch James Stirling[2], der 1745 einen Bach in ein oben mit Öffnungen versehenes vertikales Rohr leitete und durch ihn die Luft in einen Raum mitreißen ließ, in welchen die Düsenkanäle mündeten, endlich der Konstruktion der Garnwage, deren Zeiger sogleich die Garnnummer angiebt, 1765 durch Ludlam[3] (1718—1788) konstruiert, ist hier zu gedenken.

Auch auf dem Gebiete der Wärmeerscheinungen begnügte man sich mit dem Ausbau und der Verbesserung des Vorhandenen. Pieter van Musschenbroek[4] hoffte schon vor 1725 mit Hilfe seines Pyrometers dahin zu gelangen, höhere Temperaturen zu messen, als es das Thermometer gestattete. Seinen hierfür bestimmten Apparat zeigt Fig. 312. AB ist ein Metallstab, welcher in einem mit Alkohol, Wasser oder Öl befindlichen Messingkasten liegt. Sein eines Ende stützt sich gegen die Schraube RF, sein anderes drückt auf die Schraube C, welche mit einer Zahnstange in Verbindung gesetzt ist. Diese greift in ein Getriebe, dessen Achse den Zeiger KI trägt. Er spielt über einem Zifferblatte und wird gedreht, wenn sich AB verlängert oder verkürzt. Das erstere tritt aber ein, wenn die mit dem Gefäße PO in Verbindung stehenden Lämpchen angezündet werden. Die Temperatur der Flüssigkeit im Troge misst das Quecksilberthermometer TS. Musschenbroeks Apparat änderte Ellicott[5]) 1736 dahin ab, dass er den sich ausdehnenden, mit dem einen Ende gegen das Widerlager sich stützenden Stab mit dem anderen Ende gegen eine Feder drücken ließ, an welcher eine über mehrere Rollen geleitete Schnur befestigt war. Ein Gewicht spannte die Schnur und bewirkte eine Drehung der Rollen, wenn der Stab sich ausdehnte, während die Kraft der Feder diese Drehung rück-

1) La Hire, Histoire de l'Acad. Française. Paris 1716. S. 322.
2) Stirling, Philosophical Transactions. 1745. Vol. 43. No. 475. S. 315.
3) Ludlam, Philosophical Transactions. 1765. Vol. 55. S. 205.
4) P. v. Musschenbroek, Introductio ad philosophiam naturalem. Lugd. Bat. 1762. T. II. S. 610.
5) Ellicott, Philosophical Transactions. 1736. No. 443. S. 297.

gängig machte, wenn der Stab sich wieder verkürzte. An der Achse einer der Rollen befand sich ein über einer Teilung spielender Zeiger, so dass der Mechanismus der nämliche war wie der, den jetzt die Hitzdrahtinstrumente aufweisen. 1736 verfertigte Jackson[1]) für Mortimer ein solches Pyrometer, bei welchem ein 13′ 1″ langer Messingstab den kurzen Arm eines Hebels hob, dessen längerer eine um eine Rolle geschlungene Schnur und dadurch einen Zeiger bewegte, eine Konstruktion, wie sie später auch Johnston[2]) anwendete. Wenn auch dieser Apparat als Pyrometer nicht verwendbar war, so konnte er doch sehr gut zur Bestimmung der Ausdehnungskoëffizienten dienen, wenn man nur, wie dies später Lavoisier und Laplace thaten, für eine die Verlängerung genau gebende Ablesungsvorrichtung sorgte.

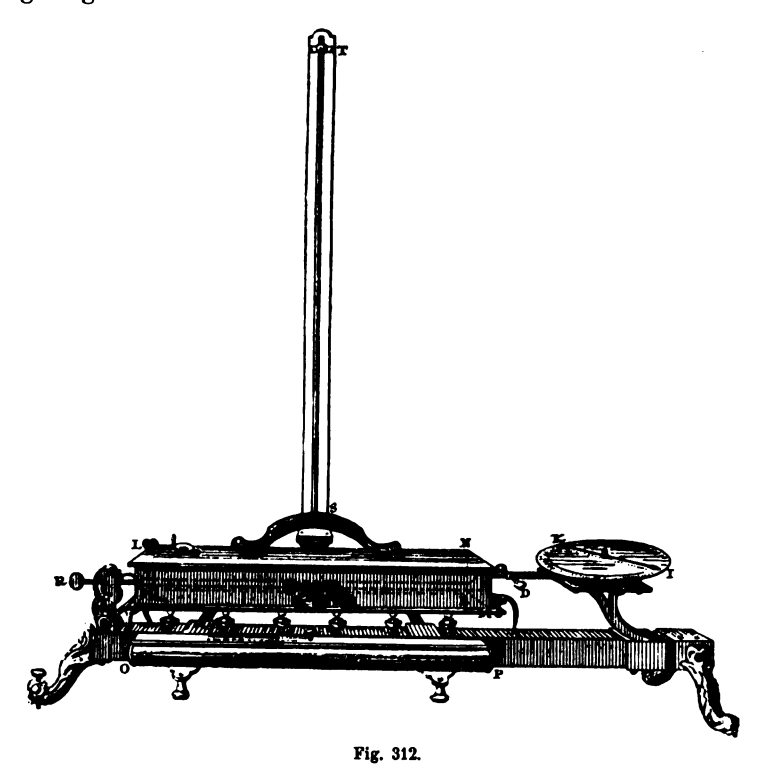


Fig. 312.

Wichtiger wie die Herstellung dieser ihren Namen mit Unrecht tragenden Pyrometer waren die Versuche Nollets zur Entscheidung der Frage, ob das Sieden einer Flüssigkeit wirklich, wie es damals noch allgemein angenommen wurde, von der in ihr befindlichen Luft herrühre[3]). Er hob

1) Jackson, Philosophical Transactions. 1747. No. 484. S. 686.
2) Johnston, Ebenda. 1748. No. 485. S. 128.
3) Nollet, Histoire de l'Académie Royal des Sciences. 1748. S. 57.

hervor, dass es gegen diese Annahme spreche, dass die Flüssigkeiten bis zur Trockenheit sieden könnten, ohne dass veränderte Lichtreflexion oder starke Ausdehnung in den letzten Resten die Anwesenheit der zum Sieden nötigen Luftmenge verrate, sodann, dass Flüssigkeiten, welche verschiedene Mengen Luft enthielten, doch hinsichtlich des kräftigen Siedens durchaus keinen Unterschied erkennen ließen. Auch wollte es ihm trotz vieler zu diesem Zwecke angestellter Versuche nicht gelingen, die Luft, die das Sieden dadurch hervorrufen sollte, dass sie sich ausdehnt, nachzuweisen, und so kommt er zu dem Schlusse, dass es der Dampf der Flüssigkeit sei, den man so lange erwärmt hat, »bis er das Sieden hervorruft, und dessen Spannkraft man immer wieder erneuert, indem man brennendes Feuer unter dem Gefäße erhält«. Bei einem der Versuche, jene Luft zu erhalten, tauchte Nollet den Hals einer mit Wasser gefüllten Äolipile unter Wasser und erwärmte die Äolipile. Anfangs trat etwas Luft aus, das hörte aber bald auf und es trat statt dessen ein eigentümliches Geräusch auf, während die großen, aus der Äolipile sich entwickelnden Blasen nicht bis zur Oberfläche des Wassers gelangten. Diese Versuche beseitigten die Ansicht, dass die Luft die Ursache des Siedens sei, endgültig.

Andere Irrtümer hielten sich hartnäckiger. So veröffentlichte noch 1785 die Royal Society einen Brief Fordyces[1]) (1736—1802), worin dieser mitteilt, dass schmelzende Körper leichter, erstarrende schwerer werden. Er hatte in einem pyknometerartigen Fläschchen, welches 1700 grain fasste, Flusswasser frieren lassen und dabei eine Gewichtszunahme beobachtet, mochte aber wohl den sie erklärenden Wasserniederschlag aus der Luft unbemerkt gelassen haben.

Die zu Wetterbeobachtungen und ähnlichen Zwecken dienenden Instrumente um die Mitte des 18. Jahrhunderts.

1. Das Thermometer.

Wenn auch die hier zu besprechenden Instrumente keineswegs allein für meteorologische Beobachtungen bestimmt waren, so wurden doch, dank der Anregungen der Accademia del Cimento, der Royal Society u. s. w. die meisten von ihnen hauptsächlich für solche gebraucht und im Hinblick auf diese Bestimmung soviel wie möglich verbessert. Sie blieben freilich noch weit von dem hohen Grade der Vollkommenheit entfernt, welche sie in unserer Zeit erreicht haben, aber die Fehler, die ihnen noch anhafteten, wurden je länger je geringer und es wurden die Wege bezeichnet und eingeschlagen, die geeignet waren, sie zu verbessern.

1) Fordyce, Philosophical Transactions. 1785. Vol. 75. S. 361.

Wollte man wieder brauchbare Thermometer haben, so musste man auf den Standpunkt, auf welchen Fahrenheit die Kunst ihrer Herstellung gelassen hatte, zurückkehren, die von Réaumur gemachten Rückschritte beseitigen. Zunächst galt es, das Quecksilber wieder als thermometrische Substanz einzuführen, auf das immer und immer wieder dem Alkohol gegenüber als den zweckmäßigeren Körper für die Herstellung der Thermometer hingewiesen wurde, so wiederum 1749 von Miles[1]) (gest. 1763). Doch gelang es erst 1772 dem Genfer Deluc[2]) (1727—1817) das Quecksilber als Thermometerfüllung wieder zur allgemeinen Geltung zu bringen und das Alkoholthermometer auf die wenigen Fälle zurückzudrängen, in denen das Quecksilber nicht ausreichte. So wurde es möglich, übereinstimmende Thermometer herzustellen, eine Aufgabe, an deren Lösung sich noch 1736 Weitbrecht[3]) (1702—1747) vergebens versucht hatte.

Aber auch das Musschenbroeksche Pyrometer suchte man thermometrischen Zwecken dienstbar zu machen. Um Temperaturunterschiede bei niedrigen Wärmegraden durch die Ausdehnung von Metallstäben messen zu können, musste man freilich darauf denken, die Ausdehnung eines genügend langen Stabes zu benutzen. Die Unbequemlichkeit, die ein solcher verursachte, beseitigten 1760 Fitzgerald[4]) (gest. 1782) und 1762 Zeiher[5]) (1720—1784) dadurch, dass sie mehrere Metallstäbe anwendeten, von denen der eine auf den Arm eines zweiarmigen, auf einer Schneide ruhenden Hebels drückte, dessen anderer Arm den folgenden Stab fortschob. Der englische Forscher suchte zudem die Empfindlichkeit des Instrumentes noch dadurch zu erhöhen, dass er den letzten der vier von ihm angewendeten Stäbe sich um eine Rolle drehen ließ, die ihre Bewegung mittels einer Schnur auf eine zweite kleinere übertrug und so einen auf dieser befestigten, die Ausdehnung des Metalles messenden Zeiger drehen ließ. Der Petersburger Akademiker aber zog es vor, die Anzahl der Stäbe zu vermehren, und so hat sein Thermometer die nämliche Form wie dasjenige, welches in unserem Jahrhundert Lamont als registrierendes Instrument benutzte.

Ein Thermometer mit wechselnder Empfindlichkeit suchte 1765 Zeiher[6]) dadurch herzustellen, dass er das gläserne Gefäß durch ein mit einer Schraube versehenes eisernes ersetzte. Durch Drehen der Schraube konnte er die Kapazität des Gefäßes im Verhältnisse zur Weite des Rohres vergrößern oder verkleinern. Wie er für jedes einzelne Verhältnis die Skala erhalten,

---

1) Miles, Philosophical Transactions. 1749. Vol. 46. No. 491. S. 1.
2) Deluc, Recherches sur les modifications de l'Atmosphère. Genève 1772. S. 330.
3) Weitbrecht, Commentarii Petropolitani. VIII. 1736. S. 210.
4) Fitzgerald, Philosophical Transactions. 1760. Vol. 51. II. S. 823.
5) Zeiher, Commentarii Petropolitani. 1762/63. T. IX. S. 305.
6) Zeiher, Commentarii Petropolitani. 1765. Vgl. Acta Eruditorum. 1765. S. 262.

wie er die Dichtungen herstellen wollte, hat er uns freilich nicht mitgeteilt. Viel früher noch, bereits im Jahre 1744 hatte Krafft[1]) (1701—1754) ein registrierendes Thermometer konstruiert, welches Fig. 313 darstellt und dazu dienen sollte, die Tiefen, bis zu welchen der Frost in nördlichen Gegenden in die Erde dringt, zu bestimmen. Die Kugel *A* war zum Teil mit Luft, zum Teil mit Quecksilber oder Alkohol gefüllt, welche Flüssigkeit in dem Rohre *CD* bis *E* reichte. An seiner einen Seite waren an dieses Rohr kleine Gefäßchen aus Glas angeschmolzen, bei *D* war es zugeblasen. Dehnte sich die Luft in *A* aus, so trieb sie die Flüssigkeit in *CD* empor, sie ergoss sich in die Glasgefäßchen und da die dort eingedrungene in ihnen verblieb, auch wenn die Flüssigkeit in *DC* sank, so konnte man leicht bestimmen, wie hoch sie gestanden hatte, wie hoch also die Temperatur gewesen war. In diesem Thermometer finden wir zum erstenmal die Ideen, die, weiter entwickelt, zu den berühmten Konstruktionen von Fortin und Walferdin führten.

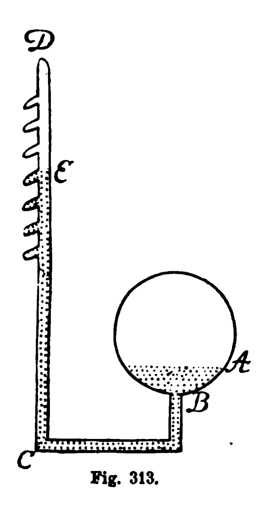


Fig. 313.

Der letztgenannte Pariser Glaskünstler machte sich auch die von Cavendish[2]) (1703—1783) 1757 angegebenen Maximum- und Minimumthermometer zu nutze, welche 1782 Six[3]) (gest. 1793) in dem Apparate vereinigte, der erst in neuerer Zeit als Thermometrograph zu allgemeiner Anwendung gekommen ist. Fig. 314 und 315 stellen die Maximumthermometer, Fig. 316 das Minimumthermometer vor.

Der in Fig. 314 abgebildete Apparat hat die Form eines gewöhnlichen Thermometers mit großem Gefäße, sein oberer Teil läuft in eine feine in der zugeschmolzenen Glasbirne *C* endigende Spitze aus. Es ist zum Teil mit Quecksilber, zum Teil mit Alkohol gefüllt, wie die Figur erkennen lässt, und besitzt auf beiden Seiten in entgegengesetzter Richtung Teilungen. Nach der Herstellung wird er soweit erhitzt, dass etwas Quecksilber in die Birne *C* tritt, über dem sich dann, ebenso wie über der Quecksilbersäule im Rohr etwas Alkohol befindet. Der übrige Raum ist mit Alkoholdampf gefüllt. Der Stand des Quecksilbers auf der Skala links abgelesen giebt die augenblickliche Temperatur. Hat diese eine gewisse Höhe erreicht, so tritt Alkohol in die Birne, der Alkoholfaden über dem Quecksilber wird dadurch verkürzt. Wenn dann die Temperatur wieder sinkt, so zieht er sich mit dem Quecksilber in das Rohr zurück. Sein Stand

1) Krafft, Commentarii Petropolitani. XIII. ad annum 1741—43. Petrop. 1751. Vgl. Nova Act. Erud. 1755. S. 372.
2) Cavendish, Philosophical Transactions. 1757. Vol. 50. I. S. 300.
3) *Six, Philosophical* Transactions. 1782. Vol. 72. S. 72.

wird auf der Skala rechts abgelesen und zeigt, um wie viel Grade die Temperatur die am Quecksilber abzulesende überstiegen hatte. Hat die Anwendung des großen Gewichtes Quecksilber Bedenken, so bedient man sich des Thermometers, welches Fig. 315 zeigt. Das Rohr ist unten U-förmig gebogen, an dem aufsteigenden Teil ist die Kugel *A* und darüber

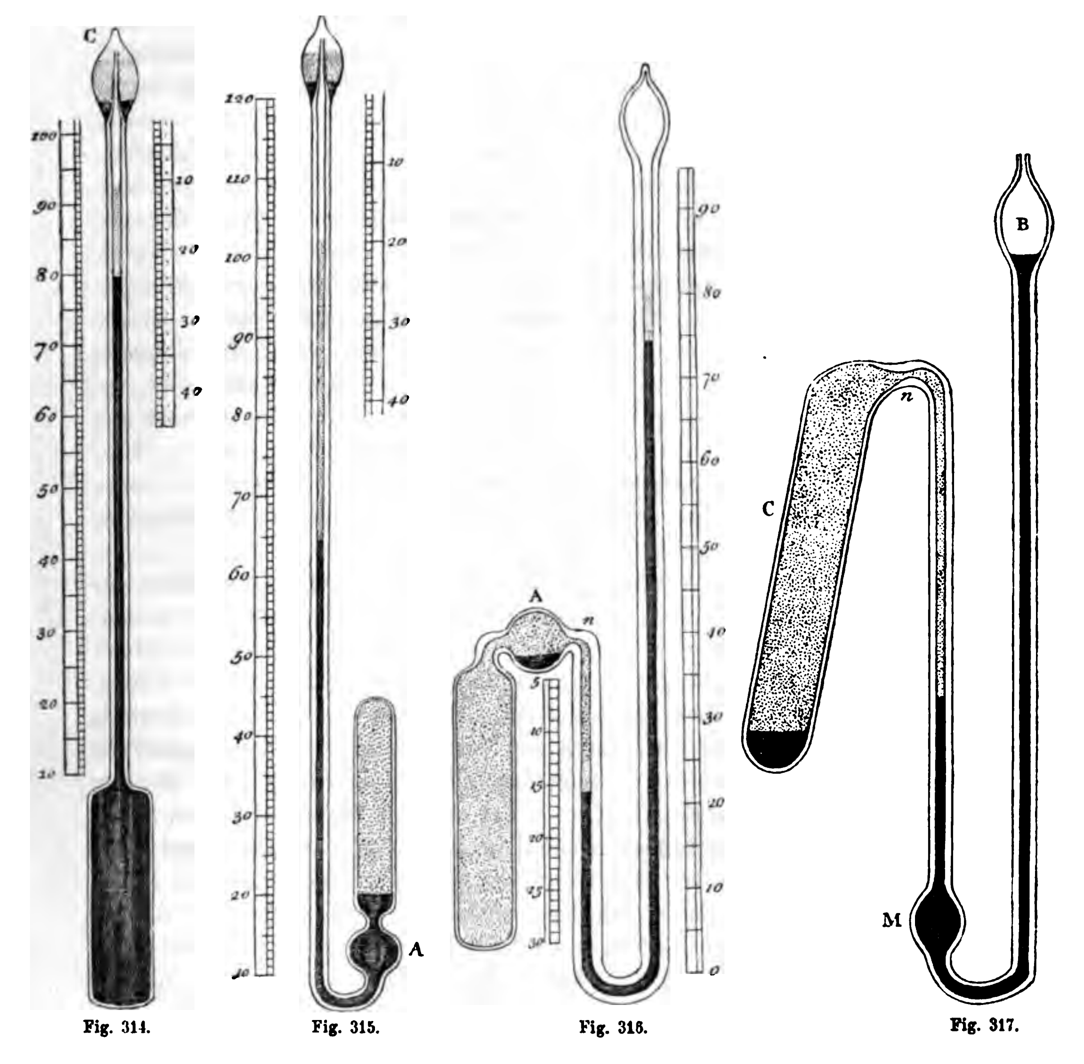


Fig. 314. Fig. 315. Fig. 316. Fig. 317.

ein cylindrisches Gefäß angebracht. Während dieses mit Alkohol gefüllt ist, enthält jene und ein Teil des Rohres Quecksilber, auf dem sich wieder Alkohol wie bei Fig. 314 befindet; die übrige Einrichtung und der Gebrauch des Instrumentes ist der nämliche, wie bei diesem. Der Zweck der Kugel *A* ist, zu verhüten, dass der Alkohol aus dem Cylinder über ihr in das Rohr tritt und so das Thermometer in Unordnung kommt.

Etwas verwickelter ist das Minimumthermometer eingerichtet, welches Fig. 316, S. 319, zeigt. Auch bei ihm ist das Thermometerrohr U-förmig gebogen, mündet aber mit seinem oberen Ende n in die Kugel A, an die sich das abwärts gebogene cylindrische mit Alkohol gefüllte Gefäß schließt. Über dem Quecksilber befindet sich in dem langen, oben zu einer Birne erweitertem Teil des Rohres Alkohol und Alkoholdampf. Die Skala links lässt die augenblicklich vorhandene, die rechts das Minimum der Temperatur zwischen zwei Zeitpunkten beobachten. Ein Teil des Quecksilbers begiebt sich nämlich in die Kugel A, wenn die Temperatur immer mehr sinkt, bei wieder steigender ist mithin der Faden im kürzeren Schenkel kürzer. Da nun aber, wenn das Rohr bei n weit wäre, das Quecksilber in großen Tropfen herabfallen würde, so würden die Beobachtungen nur auf soviel Grade genau sein, als das den übertretenden Tropfen bildende Quecksilberrohr im Thermometer einnehmen würde. Sollen kleinere Werte abgelesen werden, so muss das Quecksilber bei n sich nur in ganz kleinen Tröpfchen ablösen. Dazu ist zunächst der Durchmesser des Rohres bei n durch Einschmelzen an der Lampe stark verkleinert »und die Passage ist ferner verengt durch einen soliden Glasfaden, welcher in das Rohr gebracht worden ist und sich vom Boden des kurzen Schenkels bis nahe zu der Kugel A erstreckt, wo es am meisten zusammengezogen wurde«. Um das Instrument zu einer neuen Beobachtung brauchbar zu machen, muss man es neigen, bis das Quecksilber aus A wieder in den kurzen Schenkel des Thermometerrohres geflossen ist.

Schütteln oder Stöße verträgt dies Instrument freilich nicht, ohne in Unordnung zu kommen. Für die Bestimmungen von Tiefseetemperaturen wäre es demnach nicht geeignet gewesen. Da aber Cavendish die Wichtigkeit solcher wohl einsah, so gab er dem Minimumthermometer noch die Form, welche aus Fig. 317, S. 319, ersichtlich ist. Das aus dem kurzen Schenkel Mn tretende Quecksilber fällt durch das bei n verengte Verbindungsstück n in das Gefäß C, aus dem es auch das heftigste Schütteln nicht wieder zurücktreten lässt. Die Kugel M aber hat den Zweck, zu verhüten, dass beim Neigen des Thermometers Alkohol in den langen Schenkel gelangt. Denn da wegen des großen Wasserdruckes sein birnförmiges oberes Ende offen bleiben muss, so muss verhütet werden, dass sich der Alkohol mit dem dort eingedrungenen Meerwasser vermischen oder in die daselbst vorhandene Luft verflüchtigen kann. Die in den Apparat zu bringende Menge Quecksilber wird man so abmessen, dass es noch bis B hereinreicht.

Dass dies Quecksilber luftfrei und ganz trocken sein müsse, hatten die sogleich zu besprechenden mit dem Barometer gemachten Erfahrungen gelehrt. Ob man sie, wie es Ferdinand II. von Toskana mit seinen Alkoholthermometern gethan, wie man es vor 1724 mit den Barometern zu thun gelernt hatte, auskochte, darüber ist, wie wir sahen, uns nichts überliefert. Fahrenheit scheint bei Herstellung seiner Thermometer so nicht verfahren zu sein, wenigstens teilt er nichts darüber mit. Auch dürfte der

Vorschlag, den noch 1745 von Bergen[1]) macht und den der Berichterstatter über sein Buch in den Actis Eruditorum[2]) doch wohl, weil er ihn für neu und empfehlenswert hielt durch den Druck hervorhebt, eine solche Annahme nicht unterstützen. »Das Quecksilber«, sagt von Bergen, »wird in einem Tontiegel erhitzt, bis es zu rauchen beginnt. Dann wird es unter den Rezipienten gebracht und, nachdem die Luft herausgezogen worden ist, im luftleeren Raume abkühlen gelassen. Das so gereinigte Quecksilber wird in einem trockenen, reinen und verschlossenem Gefäße für den Gebrauch aufbewahrt«.

2. Die Barometer.

Die Thermometer Cavendishs stellten so hohe Anforderungen an diejenigen, welche ihrer Herstellung sich unterzogen, dass in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts die Kunst der Glasbläserei eine hohe Stufe bereits erreicht haben musste. Der aus Glas bestehende Teil der Barometer war leichter zu verfertigen, dafür aber erforderte die Behandlung des Quecksilbers die größte Sorgfalt, wenn keine Luft in der Barometerkammer bleiben sollte. Ein Kriterium dafür glaubte man in der Beobachtung gefunden zu haben, welche 1675 zufällig Picard[3]) (1620—1682) gemacht hatte, dass Barometer, welche obige Eigenschaft aufwiesen, im Dunkeln geschüttelt in ihrem oberen Teil schwach zu leuchten begannen. Das erreichte man mit Sicherheit, indem man die Barometer, nachdem man sie mit Quecksilber gefüllt hatte, auskochte. Gemacht war diese Entdeckung in Deutschland, ohne dass uns überliefert wäre von wem. Bekannt wurde sie aber erst 1724 durch eine Abhandlung Du Fays[4]) (1698—1739), welcher erzählt, dass sie ihm ein deutscher Glaskünstler mitgeteilt habe. Das von ihm angewendete Verfahren schildert er folgendermaßen: »Er (der Glaskünstler) nahm ein Rohr von etwa 32 Zoll Länge und einer Linie innerem Durchmesser und führte einen Eisendraht hinein, an dessen einem Ende ein wenig Baumwolle sich befand, um das Rohr innen zu trocknen, darauf schloss er mit seiner Lampe eines der Enden des Rohres; nachdem es abgekühlt war, brachte er von neuem einen Eisen-

1) von Bergen, De Thermometris mensurae constantis Commentatio. Francofurti ad Viadrum 1745.

2) Nova Acta Eruditorum. Supplementa VI. Sect. IV. S. 170.

3) Bernoulli, Histoire de l'Acad. Royale à Paris. 1700. S. 178.

4) Du Fay, Sur les baromètres lumineux. Mémoires de l'Acad. Franç. Paris 1723. S. 295. Den Namen des deutschen Künstlers teilt Du Fay nicht mit. Wenn Günther (Kosmos III. S. 283) die Erfindung der von jenem nach Paris gebrachten Methode des Auskochens der Barometer Weidler zuschreibt, so irrt er schon deshalb, weil die Schrift, auf die er sich beruft, wie ein Blick in Poggendorffs biographisch-litterarisches Wörterbuch beweist, gar nicht von Weidler sein kann, auch das Auskochen nicht einmal vorschreibt.

draht ohne Baumwolle hinein und füllte es durch einen Glastrichter bis zu einem Drittel seiner Höhe mit gewöhnlichem Quecksilber, welches keine andere Zubereitung erfahren hatte, als dass man es durch eine Düte aus Papier mit einer möglichst kleinen Öffnung hatte gehen lassen. Dadurch war das Quecksilber vollständig von seinem Schmutz befreit, welcher in der Papierdüte zurückblieb. Dann entzündete er einige Kohlen in einem Becken, brachte das Barometer in geneigte Lage und brachte anfangs das geschlossene Rohrende in nicht zu große Nähe, bis er noch dahin kam, es auf die Kohlen zu legen. Das Quecksilber begann zu wallen und zu sieden, oder vielmehr die Luft, welche es enthielt, begann sich auszudehnen und kleine Blasen zu bilden, welche sehr leicht herausgingen, weil er fortwährend das Rohr wendete und mit dem Eisendraht rührte, indem er ihn abwechselnd herauszog und eintauchte, bis keine Luftblasen mehr sich zeigten; dann schob er das Rohr weiter über das Becken und erwärmte so nach und nach langsam alle Teile des Rohres, bis zu welchen das Quecksilber reichte. Nachdem er es hatte erkalten lassen, füllte er noch Quecksilber zu, bis zum zweiten Drittel seiner Höhe und erwärmte es auf dieselbe Art, um die Luft daraus zu entfernen. Als das Rohr abgekühlt war, füllte er es ganz, erwärmte aber das letzte Drittel nicht mehr, indem er mir versicherte, dass das unnütz wäre. Er setzte darauf auf das Rohrende einen Stopfen von weißem Holz, den er mit Siegellack verkittete. Nachdem er dann das Barometer in seine natürliche Lage gebracht hatte, trugen wir es an einen dunklen Ort, wo es uns stark leuchtend erschien, so dass jedesmal, wenn ich balancierend das Quecksilber herabgehen ließ, der ganze leere Raum, welcher darüber war, wie eine Säule von Licht erschien, welches jedoch nach dem unteren Teile zu, d. i. nach der Stelle, wo sie unmittelbar das Quecksilber berührte, am lebhaftesten war.«

Bekanntlich ist über den Grund dieser Lichterscheinung lange gestritten worden. Doch hat dieser Streit für uns nur ein untergeordnetes Interesse. Man führte sie auf eine besondere Lichtmaterie zurück, einer Erklärung, der auch Du Fay trotz seiner eingehenden Beschäftigung mit elektrischen Problemen, die wir weiter unten zu schildern haben werden, sich anschloss. Es ist dies um deswillen zu verwundern, als schon 1708 Hawksbee gestützt auf seinen bereits besprochenen Versuch mit der Luftpumpe, die Erscheinung ganz richtig aus der Reibung des Glases am Quecksilber erklärt hatte. Seine Ansicht gewann je länger je mehr die Anerkennung der Physiker. 1745 schloss sich ihr der jüngere Ludolff[1]) (1707—1763) ausdrücklich an, indem er als Vorbedingung für sie das Auskochen der Barometer erklärte. Als dann im folgenden Jahre l'Allemand[2]) den Versuch machte, den in den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts Geißler in

1) Ludolff. Mémoires de l'Acad. Royale des Sciences à Berlin 1745. S. 1.
2) l'Allemand, Philos. Transact. 1746. Vol. 44. No. 478. S. 58.

Bonn, freilich ohne Erfolg, technisch verwendbar zu machen suchte, dass er in einem luftleeren Rohre Quecksilber schüttelte und so zum Leuchten brachte, war der experimentelle Beweis für die Richtigkeit der Hawksbeeschen Annahme erbracht, und zu ihr bekannte sich denn auch 1767 Aepinus[1]) (1724—1802), zu endgiltiger Anerkennung aber brachte sie wohl erst 1772 Deluc[2]).

Wichtiger wie das leuchtende Barometer ist für uns ein Apparat, den Zeiher[3]) im Jahre 1760 beschrieb, weil er das erste Aneroïd darstellt. Den Gedanken, die Größe des Luftdruckes durch den Widerstand eines einen luftleeren Raum offen haltenden federnden Körpers zu messen, hat, wie wir sahen, Leibniz zuerst ausgesprochen. Da er aber seine Pläne in Briefen, die erst in unseren Tagen veröffentlicht sind, niedergelegt hatte, so konnte Zeiher keine Kenntnis davon haben. Dass dieser seine Erfindung ganz selbständig machte, geht zudem aus dem Gedankengange hervor, der ihn darauf führte. »Wenn wir an Stelle des Quecksilbers in einer Torricellischen Röhre« sagt er, »eine Feder nehmen, so ist es klar, dass diese so weit zusammengepresst wird, bis sie dem Luftdrucke widersteht. Daraus ergiebt sich weiter, dass diese Feder bei einer geringeren Quecksilberhöhe im Torricellischen Barometer, z. B. 27 Zoll, weniger zusammengepresst wird, als wenn sie eine Höhe von 28 oder 29 Zoll zu tragen hat. Daher wird diese Feder ebenso wie die Quecksilbersäule bei Änderungen des Luftdruckes einen gewissen Raum durchlaufen, und wenn sie mit einem Zeiger versehen wird, ebenso wie das Quecksilber die vorkommenden Änderungen angeben«.

Um diesen Gedanken praktisch zu verwenden, nahm Zeiher einen Cylinder, dessen Boden mit Ledereinlage luftdicht angebracht, dessen Deckel ohne besondere Vorsichtsmaßregel aufgesetzt wurde. Durch den Deckel ging die Stange eines luftdicht in dem Cylinder beweglichen Kolbens, an dem das eine Ende einer Spiralfeder befestigt worden war, deren anderes vom Deckel gehalten wurde. Der Raum unter dem Kolben wurde soviel wie möglich luftleer gepumpt und so erhalten. Oberhalb des Cylinderdeckels legte sich die Kolbenstange gegen eine Frictionsrolle, gegen welche sie eine zweite Feder presste. Die Achse der Rolle trug einen Zeiger, der auf einer empirischen Skala spielte. Um den Kolben dicht zu halten, sollte er mit einer Mischung von Öl und Talg übergossen werden. Auch war das Auspumpen des Cylinders von Zeit zu Zeit zu wiederholen, wonach jedesmal die Skala von neuem ausgewertet werden musste. Gegenüber dieser noch recht ungeschickten und unbequemen Anordnung tritt die von Vidi[4]) 1848 gemachte Erfindung des modernen Aneroïds in ein neues

1) Aepinus, Commentarii Petropolitani. 1767. T. IX. S. 303.
2) Deluc, Recherches sur les modifications de l'Atmosphère. Genève 1772.
3) Zeiher, Commentarii Petropolitani. 1760—61. T. VIII. S. 274.
4) Vidi, Poggendorffs Annalen. 1848. Bd. 73. S. 620.

Licht. Während Zeiher das luftleere Gefäß und die Feder gesondert anbringt, vereinigt Vidi beide und setzt die Elastizität des Deckels des luftleer gemachten Raumes an die Stelle der Feder.

3. Die Hygrometer und die übrigen meteorologischen Instrumente.

Weniger wie Thermometer und Barometer wurden in dem in Rede stehenden Zeitraume die Apparate zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit gefördert. Arderon[1]) schlug 1746 wieder vor, dazu einen Schwamm an den einen Arm einer Wage zu hängen, setzte aber auch sieben Holzstücke zusammen und maß deren Verlängerung bei zunehmender Luftfeuchtigkeit. Auch Ferguson[2]) (1710—1776) wendete Holz an; sein Hygrometer ist dem von Coniers sehr ähnlich. Verbesserungen bedeuteten diese Vorschläge nicht, und auch der von Inochodzow[3]) (1741—1806) an den Ufern der Camyschenka gelegentlich einer behufs astronomischer und geodätischer Messungen angestellten Reise aufgefundene Lapis hydrometricus, ein weicher zerreiblicher Thon, übertraf in nichts den Schwamm an Verwendbarkeit für Bestimmung der Luftfeuchtigkeit.

Brauchbarer, wenigstens für qualitative Bestimmungen erwies sich der Vorschlag des Ingenieurs Smeaton[4]), dem die Benutzung der hygroskopischen Eigenschaften der Hanfseile am nächsten lag. Größere Genauigkeit erreichten die Instrumente Lamberts und Delucs, die freilich auch mehr Vorhandenes verbesserten, als Neues einführten. Lamberts[5]) (1728—1777) 1772 konstruiertes Hygrometer verwandte als hygroskopischen Körper die damals für denselben Zweck bereits öfters benutzte Darmsaite. Aber indem er ihr einen Zeiger tragendes oberes Ende an einer mit Teilung versehenen Kartonplatte befestigte, die Kartonplatte von einem schraubenförmig gewundenen Drahte tragen ließ, dessen Achse die Saite bildete, sicherte er ihre Lage und zugleich den Luftzutritt. Die Saite und der federnde Draht waren mit ihrem unteren Ende an eine zweite Kartonplatte befestigt, welche von zwei Füßchen getragen wurde. Doch scheint der zierliche Apparat, den sich jeder leicht selbst anfertigen und als Hygroskop benutzen konnte, seinen Erfinder auf die Dauer nicht befriedigt zu haben. Wenigstens ging er später wieder auf die altgewohnte Konstruktion zurück, bei welcher die Saite an ihrem oberen Ende befestigt wurde und an ihrem unteren den über eine Teilung spielenden Zeiger trug.

1) Arderon, Philosophical Transactions. 1746. Vol. 44. S. 95 und 184.
2) Ferguson. Ebenda. 1764. IV. S. 259.
3) Inochodzow. Acta Academiae Scientiarum imperialis Petropolitanae. 1778. T. II. S. 193.
4) Smeaton, Philosophical Transactions. 1771. Vol. 61. S. 198.
5) *Lambert*. Mémoires de l'Académie des Sciences à Berlin. 1772. S. 65.

Delucs[1]) mit gewohnter Sorgfalt hergestelltes Instrument stellt Fig. 318 dar. Der Reformator der Kunst, zuverlässige Thermometer zu machen, gab ihm die Form des ihm so vertrauten Apparates, das Gefäß zeigt in größerem Maßstabe die Nebenfigur. Es bestand aus einem Stück Elfenbein, in welches in der Richtung der Fasern ein Loch gebohrt worden war. Darauf war es mit der Messingfassung *ff* versehen und in ihre Öffnung das Thermometerrohr *ad* mit Gummilack oder Mastix hineingekittet. Der Ring *hi* hielt die von *g* an mit etwas stärkerer Wand versehene Elfenbeinbüchse zusammen. Mit Hilfe eines durch das Rohr gesteckten Pferdehaares wurde das Ganze mit Quecksilber angefüllt und nun zwei feste Punkte zu bestimmen gesucht. Dazu ging Deluc von der allerdings ganz unbewiesenen Voraussetzung aus, dass die Elastizität des Elfenbeines nach Änderungen, die sie durch wachsende oder abnehmende Feuchtigkeit erlitten habe, das innere Volumen des Gefäßes wieder auf seinen Anfangswert zurückführe. Den Raum zwischen den so gefundenen Punkten, größte Trockenheit und Feuchtigkeit, wollte Deluc dann in gleiche Teile teilen. Den Anfangswert der Teilung suchte er dadurch zu bestimmen, dass er das Gefäß in Wasser von der Temperatur des schmelzenden Eises tauchte. Die Festsetzung ihres zweiten festen Punktes war schwieriger, namentlich auch deshalb, weil das Instrument zugleich als Thermometer wirkte. Nicht sehr glücklich suchte er diese Schwierigkeit dadurch zu heben, dass er

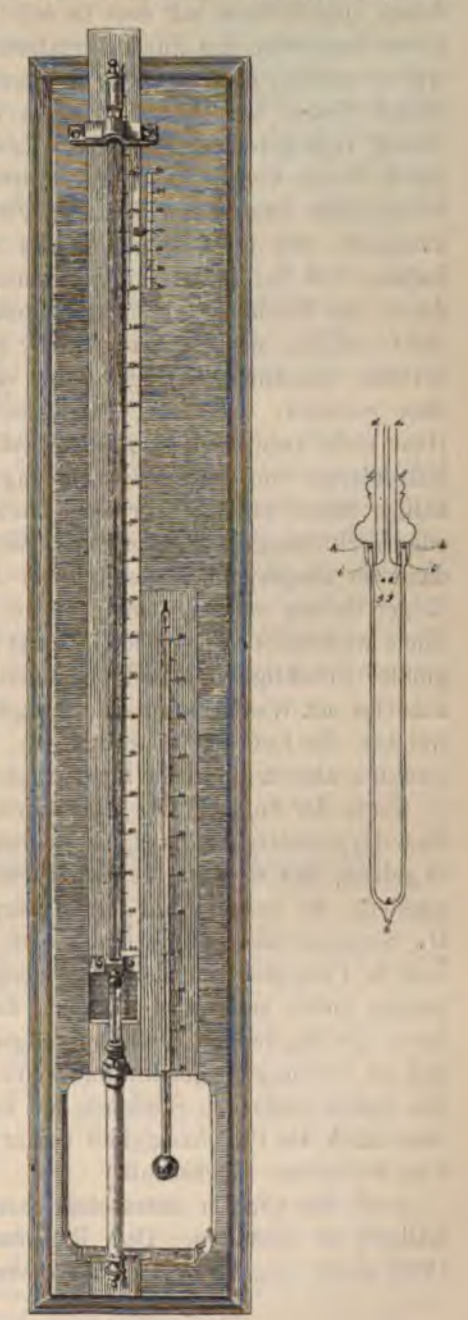


Fig. 318.

1) Deluc, Philosophical Transactions. 1774. Vol. 63. Tom. I. S. 404.

das Gewicht des in einem Thermometer mit aufgetragener Skala vorhandenen Quecksilbers mit dem in sein Instrument gegebenen verglich, nach dieser Proportion das Fundamentalintervall bestimmte, die Abstände beider, wie er meinte, fester Punkte, in vierzig Teile teilte und diese Teilung nach beiden Seiten fortsetzte. Er nahm nun für seine Beobachtungen ein in vierzig Teile geteiltes, also halbes Réaumursches Thermometer und glaubte durch dessen Vergleichung mit seinem Instrumente die Änderung des Elfenbeingefäßes infolge der Feuchtigkeit bestimmen zu können. Die Ungenauigkeit, die der Bestimmung des Punktes größter Trockenheit aber anhaftete, ließ ihn später sein Instrument wieder aufgeben und das Elfenbein durch das Fischbein als hygroskopische Substanz ersetzen, das er auch nicht aufgab, als De Saussure[1]) (1740—1799) als solche in seinem so berühmt gewordenen Hygrometer ein blondes Menschenhaar nahm. So ohne weiteres, wie Holz, Fischbein oder Elfenbein ließ sich freilich das Haar nicht verwerten, es musste erst durch längeres Kochen in Kali- oder Natronlauge von seinem Fettüberzuge befreit werden. Dunkle, pigmenthaltige Haare blieben aber auch dann untauglich, weil ihre Verlängerung oder Verkürzung sich als unregelmäßig erwies. Das entfettete Haar wurde dann so ausgespannt, dass es bei Längenveränderungen eine Rolle mit Zeiger drehen musste, indem ein an derselben Rolle im entgegengesetzten Sinne wirkendes kleines Gewicht das Haar gespannt erhielt. Um die Punkte größter Feuchtigkeit und Trockenheit zu finden, brachte De Saussure es zunächst mit Wasser unter eine Glasglocke, sodann unter eine solche, unter welcher die Luft stark erhitzt war. Den Raum zwischen diesen beiden Punkten aber teilte er in hundert gleiche Teile.

Trotz der Angriffe, die namentlich Deluc, aber auch andere gegen das Haar-Hygrometer richteten, ist es das einzige, was sich behauptet hat, da es gelang, das so bequeme Instrument für genaue Messungen brauchbar zu machen. So ersetzte auf Grund sorgfältiger Versuche Gay Lussac die De Saussuresche Skala durch eine andere, welche den Wassergehalt der Luft in Prozenten der Sättigungsmenge bei der gerade herrschenden Temperatur giebt, und es ist bekannt, dass, seit Koppe seine Zuverlässigkeit durch die Möglichkeit, den Sättigungspunkt in jedem Augenblicke zu prüfen und zu berichtigen, gelehrt hat, seine Angaben so genau sind, dass es auf den meteorologischen Stationen hat eingeführt werden können. Dabei ist namentlich die Unabhängigkeit seiner Ablesungen von der Temperatur eine sehr schätzbare Eigenschaft.

Auch die übrigen meteorologischen Messinstrumente suchte man zweckmäßiger zu gestalten. Dem Regenmesser gab 1734 Grischow[2]) (1683—1799) einen vergrößerten Auffangeraum, lie[illegible] [illegible]erförmig nach unten

---

1) De Saussure, Essais sur l'hygrome[illegible] [illegible]lers physikalisches Würterbuch. V. S. 600.

2) Grischow, Miscellanea Be[illegible]

zulaufen und fügte ein Maßgefäß mit Deckel zu, welcher, da er nur eine Öffnung zur Aufnahme des Trichterhalses hatte, die Verdunstung des aufgefangenen Wassers verhinderte. Dem 1709 von Christian Wolff[1] (1679—1754) angegebenen, 1725 von Leutmann[2] verbesserten Anemometer schloss sich das 1749 von Lomonosow[3] (1711—1765) entworfene an. Es maß die Geschwindigkeit des Windes, indem ein durch diesen in Drehung versetztes Windrad die Anzahl seiner Umdrehungen auf ein Zählwerk mit Glocke übertrug. Die Windstärke versuchten 1757 Bouguer[4] (1698—1758) u. a. zu messen, indem sie durch den Wind eine Platte mit Stange, welche die Windfahne dem Winde immer entgegen richtete, gegen eine Spiralfeder drücken ließen, welche sich in einem parallelepipedischen Behälter befand. Je nach der Windstärke wird die Stange tiefer in den Behälter hereingepresst, und eine auf ihr angegebene Teilung lässt auf die Stärke des den Druck ausübenden Windes schließen.

Endlich sei hier noch des Instrumentes erwähnt, mit dessen Hilfe Richmann (1711—1753) die Menge des verdampfenden Wassers messen wollte und dessen Beschreibung er 1749 unter dem Titel: »Konstruktion eines Atmometers oder einer hydrostatischen Maschine, welche das bei einem bestimmten Wetter verdampfte Wasser zu messen gestattet und geeignet ist, dessen wenige Gran betragende Menge zu beobachten und das Gesetz der Verdampfung aufzustellen« veröffentlichte[5]. Das einfache Instrument bestand aus einem Verdampfungsgefäß mit Schwimmer, der den Grad der Entleerung zu bestimmen gestattete.

Die optischen Apparate um die Mitte des 18. Jahrhunderts.

Unter dem Einflusse der Autorität Newtons waren es [illegible] katoptrischen Instrumente, deren Vervollkommnung und erweiterte Anwendung man erstrebte. Die äußere Form, welche Halley[6] 1722 dem Spiegelteleskop gegeben hatte, behielt Short (1710—1768) bei, und die Verbesserung, welche 1740 Caleb Smith[7] vorschlug, statt des Metallspiegels einen solchen von Glas zu nehmen, dessen vordere Fläche einen größeren Krümmungsradius aufwies wie die hintere, erwies sich [illegible] nicht [illegible]

1) Wolff. Elementa Matheseos universae. [illegible]
2) Leutmann, Instrumenta meteorognosiae. [illegible] Gehlers physikalisches Wörterbuch. Bd. X. [illegible]
3) Lomonosovius, Commentarii [illegible]
4) Bouguer, Manoeuvre des Vaisseaux [illegible]
5) Richmann, Commentarii [illegible]
6) Halley, Philosophical Transactions [illegible]
7) Smith, Ebenda. 1740. [illegible]

solche. Obgleich nun Dollond[1] (1706—1761) 1757 zuerst die theoretischen Ergebnisse Eulers[2] (1707—1783) und Klingenstiernas[3]) (1698—1765) durch den Versuch bestätigte, dass die Zerstreuung der Farben bei gleich starker Brechung eine verschiedene sein könne und, gestützt auf diese Erfahrung anfing, seine noch berühmten Refraktoren zu bauen, so bewahrten doch die Reflektoren bis in das 19. Jahrhundert ihre bevorzugte Stellung, wie denn William Herschel seine bewunderungswürdigen Arbeiten und Entdeckungen mit solchen machte. Auf die Herstellung guter Spiegel war deshalb nach wie vor das Bestreben der ausübenden Optiker gerichtet. Dazu aber war ein gutes Spiegelmetall von größter Wichtigkeit. Die Herstellungsweise eines solchen schilderte 1777 John Mudge[4] (1721—1793), indem er ausdrücklich bemerkte, dass Short sich einer ähnlichen bedient habe, folgendermaßen. Zuerst wurden zwei Pfund schwedischen Kupfers geschmolzen und 14½ Unzen gekörnten Zinnes hinzugefügt. Nachdem die Schlacke abgezogen war, wurde das Metall in eine Blockform gegossen, dann wieder geschmolzen und in die Spiegelform gebracht. Die Schmelztemperatur der Legierung ist niedriger wie die ihrer Bestandteile, es muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass sie möglichst wenig überschritten wird, um der Kalcinierung (Oxydation) des Zinnes vorzubeugen. Auf ihr Eintreten ist die Beobachtung zurückzuführen, dass das Metall durch zu häufiges Schmelzen etwas von seiner Härte und weißen Farbe verliert. Ist das Metall in der Form, so muss noch etwas Zinn zugegeben werden, auf 1 Pfund vielleicht ¼ Unze. Besonders schöne Spiegel von feinstem Korn erhielt man, wenn man nicht von vornherein die 14½ Unzen Zinn den 2 Pfund geschmolzenen Kupfers zufügte, sondern etwa 1 Unze Zinn zurückbehielt, um es vor dem Gusse langsam einzubringen. Eine gute Oberfläche erhält das Gussstück dadurch, dass man unmittelbar vor dem Ausgießen einen Löffel voll Holzkohlenstaub in den Tiegel brachte, mit einem Holzstabe umrührte und dann erst ausgoss.

Für das rohe Abschleifen des Spiegels diente ein Block aus Blei mit ¼ oder ⅕ Zinn, der nach der dem Spiegel zu gebenden Form abgedreht war. Eingeschnittene Kanäle gestatteten die Aufnahme von Smirgel; auf dieser Form wurde der mit angekitteten Handhaben versehene Spiegel abgeschliffen. Das war nicht schwer, ein gewöhnlicher Arbeiter brachte es bald dahin, in zwei Stunden den Spiegel abzuschleifen. Zu dem Polieren dienten Formen von Hamburger Messing, denen mit Hilfe eines Schlägels durch passend angebrachte Schläge so genau wie möglich die gewünschte Gestalt gegeben war. Das Schleifmittel für die letzte Politur war der feinste

1 Dollond Philosophical Transactions. 1758. Vol. 50. I. S. 733.
2 Euler Mémoires de l'Académie Roy. de Berlin. 1747. S. 285.
3 Klingenstierna. Kongl. Svenska vetenshaps academiens Handlinger. 1754. In der deutschen Übersetzung Bd. 16. S. 300.
4 Mudge Philosophical Transactions. 1777. Vol. 67. I. S. 296 ff.

Smirgel, den Mudge, wie dies jetzt auch noch geschieht, durch Schlemmen erhielt.

War so der Spiegel mit größter Sorgfalt poliert, so wurden die Bilder, welche seine Mitte und seine einzelnen ringförmigen Zonen gaben, genau geprüft und wenn nötig, die Form durch richtig angebrachte Schläge korrigiert. Auch überzog man diese wohl, wie vielfach auch jetzt noch, zur Aufnahme des Smirgels mit Pech.

Bei dem überwiegenden Interesse, welches vor den Refraktoren die Spiegelteleskope in Anspruch nahmen, kann es nicht überraschen, dass man auch katoptrische Mikroskope herzustellen unternahm. Bei dem 1736 von ihm angegebenen legte Baker[1]) (1698—1774) die Einrichtung des Gregoryschen Fernrohres zu Grunde und brachte mit Hilfe des Mechanikers Scarlett auch ein solches Mikroskop zu stande. Auch Cuff[2]) fertigte sie an. Doch kam man von den unbequemen Apparaten rasch wieder ab, seit Dollond die Möglichkeit der achromatischen Objektive erwiesen hatte. So ist denn das Mikroskop des sehr vollständigen dioptrischen Apparates, welchen 1770 Nollet[3]) verwendete, ein dioptrisches. Linsen zu Brillen zu benutzen, hatte man überhaupt nicht aufgehört, und so war auch das Bedürfnis stets vorhanden geblieben, eine große Anzahl Linsen auf einmal zu schleifen, ohne dass der Richtigkeit ihrer Form Eintrag geschah. Dem suchte 1741 Jenkins[4]) dadurch zu genügen, dass er die Glasstücke in eine Cementkugel kittete, welche um eine horizontale Achse drehbar war und in einer halbkugeligen Form ruhte, welche gleichzeitig um eine senkrechte Achse rotierte.

Eines Apparates haben wir hier noch zu gedenken, welcher 1731 bekannt gegeben wurde und auch jetzt noch in seiner ursprünglichen Gestalt oft genug verwendet wird. Es ist der Spiegelsextant, dessen Beschreibung der Verfertiger optischer Apparate, John Hadley[5]) (gest. 1744) damals veröffentlichte und ihn unter seinem Namen auf die Nachwelt gebracht hat, wenn ihn auch der Amerikaner Allen[6]) für Godfrey (gest. 1749), ja für Newton in Anspruch nehmen möchte.

---

1) Baker, Philosophical Transactions. 1736. Vol. 39. No. 442. S. 259.

2) Cuff, Ebenda. 1740. Vol. 41. No. 458. S. 517.

3) Nollet, L'Art des Expériences. Paris 1770. T. III. Pl. 14.

4) Jenkins, Philosophical Transactions. 1741. Vol. 41. No. 459. S. 555.

5) Hadley, Ebenda. 1731. Vol. 37. No. 420. S. 147.

6) Allen, An American Biographical and Historical Dictionary. Boston 1832. Vgl. Poggendorff, Biogr. liter. Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften. Leipzig 1863. Bd. I. S. 920.

Die Elektrizität im 18. Jahrhundert.

1. Die Elektrisiermaschine.

Es erschien nicht thunlich, die Darstellung der Fortschritte der Elektrizitätslehre im achtzehnten Jahrhundert, wie die der Lehre vom Lichte oder der Wärme in einzelne Abschnitte nach ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge zu zerlegen. Sind die Arbeiten auf diesem Gebiete dazu einmal nicht zahlreich genug, so gehen sie andererseits in einer Weise neben einander her, welche es schwer machen würde, bei einer solchen Teilung die Übersichtlichkeit zu wahren. Wir ziehen deshalb vor, die Entwickelung der einzelnen Apparate und Lehren, soweit dies möglich ist, gesondert zu betrachten.

Wollte man die elektrischen Untersuchungen Otto von Guerickes mit Erfolg fortsetzen, so bedurfte man vor allen Dingen bequemerer Methoden, um die Elektrizität zu erzeugen. Der Vorschlag, den Hawksbee[1]) machte, die rotierende Schwefelkugel durch eine luftleer gepumpte Glaskugel zu ersetzen, auf welche der Experimentator die Hand auflegte, war allerdings keine bedeutende Verbesserung, doch machte er selbst mit diesem Apparate eine große Anzahl von Versuchen, und andere folgten ihm nach. In Fig. 300 S. 305 haben wir die Maschine kennen gelernt, die 's Gravesande zu seinen Versuchen benutzte, sie ist die Hawksbeesche. Seit 1743 bediente sich ihrer auch der Leipziger Professor Hansen, der die geriebene Glasröhre auf den Rat eines seiner Schüler durch die Glaskugel ersetzte. Man wird wohl annehmen dürfen, dass dieser die Idee dazu von Hawksbee oder 's Gravesande übernommen.

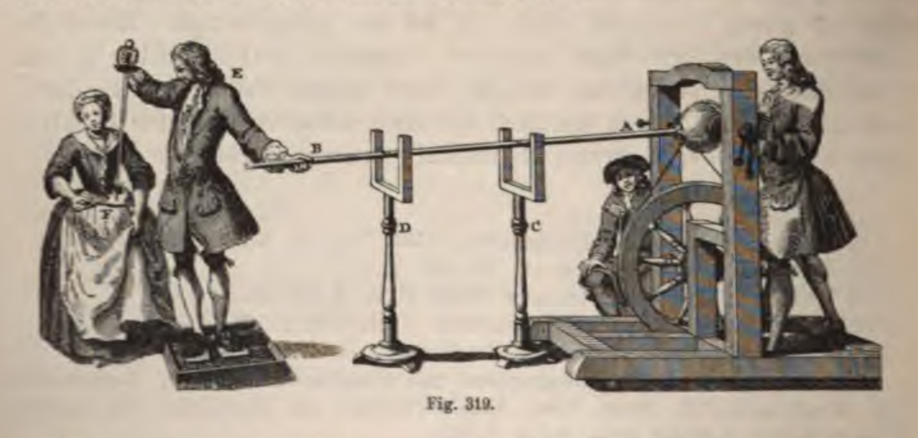


Fig. 319.

Wichtiger war die Änderung, die 1744 der Wittenberger Professor Bose[2]) mit der Maschine vornahm. Die von ihm verwendete stellt nach

1) Hawksbee, Physico-mechanical Experiments. London 1709. S. 17 ff.
2) M. Bose, Tentamina Electrica. Wittembergae 1744.

Desaguliers[1]) Fig. 319 vor. Der als Reibzeug dienenden Hand des Experimentators gegenüber befindet sich das aufgeschnittene, mit einem Bündel Fäden versehene Ende *A* der Blechröhre *AB*, ihr anderes Ende *B* hält der auf einem mit Pech gefüllten Kasten stehende Gehilfe *E* in der Hand. Getragen wird die Röhre durch seidene Schnüre, welche zwischen den gabelförmigen Trägern *D* und *C* aufgestellt sind. In der anderen Hand hielt der auf dem Pech stehende Gehilfe einen Degen, aus dessen Spitze Funken gezogen werden konnten, welche z. B. den in dem metallnen Löffel *F* befindliche Alkohol zu entzünden im stande waren. So tritt uns hier zum erstenmale der gegenwärtig an jeder Elektrisiermaschine angebrachte Konduktor entgegen, bei dem die Spitzen durch die Fäden gebildet wurden und zur Elektrisiermaschine, wie wir sie jetzt benutzen, fehlte nur noch das an der Glaskugel dauernd ruhende Reibkissen.

Dieses fügte noch in dem nämlichen Jahre, 1744, der Leipziger Professor Winkler[2]) (1703—1770) — oder richtiger der für ihn arbeitende Drechsler Giessing — der Maschine zu, doch benutzte er auch statt der Kugel eine Glasröhre, welche zwischen zwei Stücken Leder oder Wolle

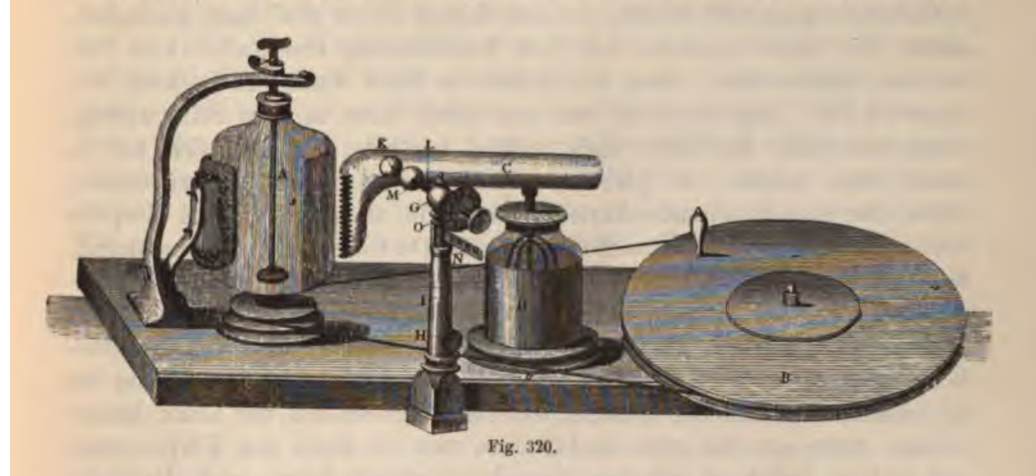


Fig. 320.

hin und her geschoben wurde. Man fand es später vorteilhafter, die Kugel durch einen rotierenden Cylinder zu ersetzen, und so sehen wir ihn an dem elektrischen Apparate, den Lane[3]) (1734—1807) noch 1766 benutzte und den Fig. 320 darstellt. Der Konduktor hatte bereits Spitzen, wie sie seit etwa 1750 Wilson (1708—1788) verwendete. Das Reibkissen bestand aus Leder, welches nach Cantons[4]) (1718—1772) Vorgang mit Zinn-

1) Desaguliers, A Cours of Experimental Philosophy. Holl. Übers. Vol. II. S. 438.

2) Winkler, Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der Elektrizität nebst Beschreibung zweier elektrischer Maschinen. Leipzig 1744. S. 12.

3) Lane, Philosophical Transactions. 1767. Vol. 57. S. 45.

4) Canton, Philosophical Transactions. 1753. Vol. 48.

amalgam bestrichen war, an dessen Stelle 1778 Higgins[1]) das Zinkamalgam empfahl. Wenn sich der rotierende Cylinder nun auch bis in die heutige Zeit erhalten hat, so wurde er doch in den bei weitem meisten Fällen durch eine rotierende Glasscheibe ersetzt. Sie führten um 1760 unabhängig von einander Sigaud de la Fond (1740—1810), Planta (1727—1772) und Ingenhousz (1730—1799) ein[2]); später verfertigte Ramsden (1735—1800) Scheibenelektrisiermaschinen. Die Form, in der wir jetzt die Maschine benutzen, erhielt sie 1783 von Le Roy[3]) (gest. 1800), nur dass er die Bewegung durch Schnurlauf beibehielt, auch noch keine Bedeckung mit Taffet oder Seide anwendete. Diese Form zeigt auch die Riesenmaschine van Marums (1750—1837) mit zwei übereinander befindlichen Scheiben, die noch in Taylors Museum in Haarlem aufbewahrt wird.

In dem Maße, wie die Häufigkeit der Anwendung der Maschinen, mit deren Hilfe man Elektrizität hervorrufen konnte, wuchs, erweiterte sich auch die Kenntnis von den elektrischen Erscheinungen. Die frühesten, diesem Zwecke gewidmeten Versuche, diejenigen, deren Ergebnisse Gray[4]) (gest. 1736) 1731 mitteilte, waren noch mit geriebenen Glas- oder Porzellanröhren angestellt worden, die man freilich bis zu 3′ 5″ lang genommen hatte. Sie waren zunächst nur eine Wiederholung von Guerickes Versuchen, ergaben aber, dass die elektrische Kraft durch ein Packseil von sogar 34 Fuß Länge zu leiten war und selbst dann in dem Seile auftrat, wenn sein Ende die Röhre nicht einmal berührte, sondern sich nur in seiner Nähe befand. Er glaubte deshalb den Satz aufstellen zu dürfen, »dass eine immerwährende Anziehungskraft in allen elektrischen Körpern vorhanden sei«. Grays Versuche wiederholte Du Fay[5]), sie teils erweiternd, teils berichtigend, und teilte 1734 die erhaltenen Ergebnisse mit. Er hatte gefunden, dass alle Körper, außer Metallen und Flüssigkeiten, wenn man sie erhitzt und mit einem Tuche reibt, elektrisch werden, dass um das nämliche zu erreichen eine Berührung mit, ja sogar nur eine Annäherung an die elektrische Glasröhre genügt, dass der Versuch mit der Leine besser gelingt, wenn man sie nass macht, dass man sie durch den Körper eines auf seidene Schnüren gelegten Menschen ersetzen kann, und dass alle Experimente, die man mit der geriebenen Schwefelkugel anstellen kann, auch mit der Hawksbeeschen Glaskugel gelingen. Die bei dem in Fig. 300 dargestellten Versuche beobachtete Anziehung der Fäden durch die geriebene Glaskugel untersuchte er eingehender und fand, dass der den Fäden genäherte Finger die Fäden abstieß, weil er ebenfalls elek-

1) Higgins, Philosophical Transactions. 1778. Vol 68. S. 861.
2) Gehlers physikalisches Wörterbuch. III. Leipzig 1827. S. 431.
3) Le Roy, Memoires de l'Académie Royale de Paris. 1788. S. 615.
4) Gray, Philosophical Transactions. 1731. Vol. 37. No. 417. S. 18. — 1732. Vol. 38. No. 422. S. 227 und No. 428. S. 287.
5) Du Fay, Philosophical Transactions. 1734. Vol. 38. No. 431. S. 258.

trisch werde. Namentlich dieser Versuch führte ihn zu der Annahme zweier Elektrizitäten, denen er die Namen der Harz- und Glaselektrizität zulegte. Die Versuche Du Fays setzte 1741 Desaguiliers[1]) fort und wurde darauf geführt, die Körper in elektrische per se und nicht elektrische per se einzuteilen, Namen, die man später durch die der idioelektrischen und anelektrischen ersetzte. Auch die Wirkung der Luftteilchen auf elektrische Körper suchte Desaguiliers[2]) zu ermitteln. Er fand die der feuchten Luft darin, dass die von dem geladenen Körper bewegte Luft die Wasserteilchen »wegtreibt, sobald sie sie elektrisch gemacht hat und dass diese sich und die Luftteilchen dann abstoßen«.

2. Verstärkungsflasche und Geschwindigkeit der Elektrizität.

Die folgenden Jahre brachten die Erfindung der Verstärkungsflasche durch den Domherrn von Kleist (gest. 1748) und den Leidner Privatmann Cunaeus (1745) und ihre Beschreibung durch van Musschenbroek und Nollet. In ihrer frühesten Form bestand sie aus einem Fläschchen, das zum Teil mit Wasser gefüllt war und in der Hand gehalten wurde. Die Hand bildete die äußere, das Wasser die innere Belegung; ein hineingestellter Nagel machte diese von außen zugänglich. Die kräftigen Wirkungen, welche man mit dem neuen Apparate erhalten konnte, erregten solches Aufsehen, dass man mit ihm nach allen Richtungen hin Versuche anstellte. Da man aber zunächst bei der Anwendung des Wassers als innere Belegung stehen blieb, dieses höchstens durch Feilspäne zu ersetzen versuchte[3]), so war das Arbeiten mit der Verstärkungsflasche recht unbequem. Erst als Watson (1715—1787) und Bevis[4]) (1695—1771) das Wasser durch Zinnfolie ersetzten, die sie auf die innere Fläche des Glases klebten, wurde diesem Übelstande abgeholfen.

Nun war es möglich, die Bedingungen ihrer Wirksamkeit eingehender zu studieren und so fand 1745 Nollet[5]), dass ihrer Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit wegen nicht alle Glassorten sich gleich gut zur Herstellung von Verstärkungsflaschen eigneten. Am zweckmäßigsten erwies sich blaues mit Zaffer (geröstetem und mit Sand vermengtem Kobalterz) gefärbtes Glas. Winkler[6]) benutzte zu seinen 1753 angestellten Versuchen

1) Desaguiliers, Philosophical Transactions. 1742. Vol. 42. No. 462. S. 14.

2) Desaguiliers, Ebenda. 1742. Vol. 42. No. 464. S. 141.

3) Cöster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Königl. Museum zu Kassel. S. 43.

4) Watson, Philosophical Transactions. 1748. Vol. 45. No. 485. S. 92ff.

5) Nollet, Ebenda. 1745. Vol. 43. No. 476. S. 420.

6) Winkler, de avertendi fulminis artificio, secundum Electricitatis doctrinam commentatio. Lipsiae 1753. Vgl. Nova Acta Eruditorum. 1755. S. 117.

eine besondere bequeme Form der Flasche. Sie bestand aus einer
förmigen Glasflasche von fünf oder mehr Zoll Durchmesser, welch
lich noch mit Messing oder Eisenfeilspänen gefüllt war. Der Ha
mit einem Kork verschlossen, durch welchen ein Metallstab hindur
Anstatt der Metallspäne konnte sie auch mit Wasser oder einer a
Flüssigkeit gefüllt werden. Sie wurde in ein hohles, halbkugelfö
becherartiges Messinggefäß gesetzt, in welches sie vollkommen genau
Auch einen Entlader fügte Winkler seiner Flasche zu, ein »Instrun
brontopoeum«, wie er ihn nannte. Es war ein hohler Schlüssel, v
damals allgemein im Gebrauche waren, in dessen Hohlraum ein
cylinder mit Handgriff eingesetzt war. Durch eine Kette war der Sc
mit dem Messingbecher verbunden und man hatte somit, um die F
zu entladen, nur nötig, den ringförmigen Schlüsselgriff dem Metallsta
nügend zu nähern.

Den Beobachtungen Du Fays schien die sonderbare Thatsa
widersprechen, welche 1759 Symmer[1] (gest. 1763) fand, dass wei
schwarze seidene Strümpfe, aneinander gerieben, verschiedene Elektri
erhielten. Indessen gelang es bald Nollet, diesen Widerspruch
aufzuklären, dass der schwarze Farbstoff der schwarzen, mit der Sei
weißen Strümpfe gerieben, die elektrische Ladung bedinge. Sy
überaus zahlreiche Versuche mit seinen Strümpfen bieten außerdem
Neues. Doch haben sie dadurch eine gewisse Bedeutung erlangt,
auf sie gestützt, der englische Forscher sich veranlasst fühlte, d
Franklin aufgestellte Erklärung der elektrischen Erscheinungen a
Annahme eines Fluidums zu verwerfen und auf die Du Faysche V
setzung zweier solcher Fluiden zurückzugreifen. Franklin[2] (1706-
hatte angenommen, dass die verschiedene elektrische Ladung der
in einem Überschusse oder einem Mangel von Elektrizität ihren
habe. Im ersten Falle nennt er sie positiv, im zweiten negativ elek
und spricht demgemäß von der positiven und der negativen Elek
eines jeden dieser Körper. Da diese Bezeichnung bereits eine geb
liche war, so musste sie Symmer als die zweckmäßigste erscheinen.
doch kurz vor seiner Veröffentlichung Delaval[3] (1729—1814) gef
dass »erdige Körper (wie Glas oder Steine) beim Elektrisieren plu
die schwefligen minus« würden. Wollte nun auch Symmer nur
Körper positiv elektrisiert bezeichnen, wenn er mit Hilfe der geri
Glasstange in diesen Zustand versetzt, negativ, wenn dies mit geri
Schwefel erreicht worden war, so lag es nahe, auch die an
menen Elektrizitäten selbst als positive und negative zu bezeichnen.

1) Symmer, Philosophical Transactions. 1759. Vol. 51. Pl. I. S. 340.
2) Franklin, Experiments and observations on Electricity made at Phil
and communicated in several letters to Mr. Collinson in London. 1751. 3. B
3) Delaval, Philosophical Transactions. 1759. Vol. 51. Pl. I. S. 85.

beide Elektrizitäten auch auf andere Weise und zwar an dem nämlichen Körper hervorgerufen werden können, entdeckte Aepinus[1]) 1756 an Turmalinkrystallen. Er fand, dass, wenn er beide Hälften eines solchen verschieden stark erwärmte, die eine positiv, die andere negativ wurde, und rechtfertigte so den Namen Aschentrecker, den der Turmalin längst um dieser nun erst erklärten Eigenschaft willen trug. Bergman[2]) (1735—1784) wiederholte 1766 diese Versuche, Aepinus' Beobachtungen erweiternd und bestätigend.

Die in damaliger Zeit ebenfalls angestellten Versuche, die Geschwindigkeit der Elektrizität in einem Drahte zu bestimmen, misslangen aus demselben Grunde, wie die ersten zur Auffindung der Geschwindigkeit des Lichtes, die Entfernungen, welche zur Verfügung standen, waren zu gering. Das war der Fall bei den Versuchen, welche Le Monnier[3]) (1717—1799) 1746 in Paris, wie bei denen, welche zwei Jahre später Watson[4]) im Beisein der Mitglieder der Royal Society in London anstellte. Seine Versuchsanordnung wird aus Fig. 321 ersichtlich. Wie man sieht, hat mit geringer Abänderung Wheatstone die nämliche Idee seinen Versuchen zu Grunde gelegt. *AD* ist ein leitender Stab, der an den beiden seidenen Schnüren *BB* isoliert aufgehängt ist. Seinem einen Ende steht die Kugel *H* gegenüber, das andere ist mit der inneren Belegung der Leidener Flasche *C* verbunden. An ihre äußere ist der Draht *EE* angeschlossen, an *H* ein ebenso langer Draht *GE*. Beider Enden fasst der Beobachter, dessen Körper durch die punktierte Linie *F* angedeutet ist und sucht den Zeitunterschied zwischen dem Erblicken des Funkens bei *H* und der auftretenden Erschütterung seiner Arme zu bestimmen. Obwohl die Drähte eine Länge von 12276 Fuß hatten, so war der Beobachter doch nicht im stande, einen solchen Unterschied wahrzunehmen.

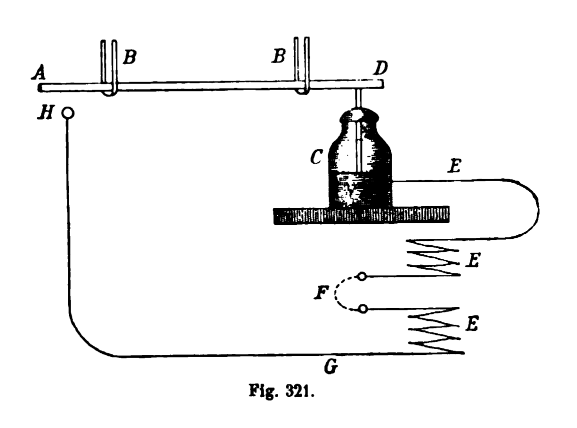


Fig. 321.

1) Aepinus, Mémoires de l'Académie Royale de Berlin. 1756. S. 105.
2) Bergman, Philosophical Transactions. 1766. Vol. 56. S. 236.
3) Le Monnier, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1746.
4) Watson, Philosophical Transactions. 1748. Vol. 45. No. 485. S. 92.

3. Die Elektrizität im luftleeren Raume. Elektrophor.

Im Jahre 1752 stellte Cavendish[1]) Versuche an, welche, wenn auch in anderer Form, bis in die neueste Zeit immer wieder wiederholt wurden und eine immer erhöhtere Wichtigkeit gewannen. Sie bezweckten die Leitungsfähigkeit des leeren Raumes für Elektrizität zu untersuchen, und als solcher diente die Torricellische Leere im Barometer. Dazu gab der englische Forscher dem Barometer die Form, die später Erman (1764—1851) zu dem nämlichen Zwecke benutzte. Er nahm ein U-förmig gebogenes Rohr von genügender Länge, füllte es mit Quecksilber, tauchte seine zugehaltenen Enden in isoliert aufgestellte, mit demselben Metall gefüllte Gefäße und nahm den Verschluss weg. Das Quecksilber sank herab und es bildete sich oben im Rohre ein luftleerer Raum. Das eine der isolierten Gefäße wurde nun mit dem Konduktor einer Elektrisiermaschine, das andere mit der Erde in leitende Verbindung gebracht. »Die Elektrizität durchdrang das Vakuum in dem zusammenhängenden Bogen einer leuchtenden Flamme, und soweit das Auge unterscheiden konnte, ohne die geringste Ausstrahlung«. Wohl noch interessanter waren die Ergebnisse, welche Morgan[2]) (1753—1798) erhielt. Der von ihm hergerichtete Apparat war ein gewöhnliches Barometer, dessen oberer Teil an der Stelle, wo sich die Leere befand, belegt war und mit der Elektrisiermaschine in Verbindung stand, während das Gefäß zur Erde abgeleitet worden war. War das Barometer gut ausgekocht, so fand keine Entladung statt, weil nach des Experimentators Ansicht die Luftteilchen so weit voneinander entfernt waren, dass sie das elektrische Fluidum nicht mehr transportieren konnten. War dagegen der Apparat nicht völlig ausgekocht, so erschien ein grünes Licht in seiner Leere. Verdünnte in diesem Falle Morgan die in der Barometerkammer noch vorhandene Luft, so wurde das Licht blau, dann indigo, endlich violett und purpurfarbig.

Die Versuche mit der als Franklinsche Tafel bekannten Form des Verstärkungsapparates hatten Beccaria[3]) (1716—1781) 1772 darauf geführt, sie mit abnehmbaren Belegungen herzustellen. Der Annahme einer Electricitas vindex, auf welche er im weiteren Verfolge seiner Arbeiten kam und welche so wirken sollte, dass die Körper bei ihrer Verbindung ihre Elektrizitäten ablegten, bei ihrer Trennung wieder ergriffen, widersprach aber Volta[4]) (1745—1827) in einem an Priestley gerichteten Briefe und zeigte zugleich, dass eine Harzplatte, auf welche ein leitender Deckel gesetzt wurde, ihre Elektrizität sehr lange behielt. Diese Beobachtung

1) Cavendish, Philosophical Transactions. 1752. Vol. 47. S. 371.

2) Morgan, Ebenda. 1785. Vol. 75. S. 272.

3) Beccaria, Dell' Elettricismo artificiale. Bologna 1772. Vgl. Gehler. Physikalisches Lexikon. III. Leipzig 1827. S. 729.

4) Volta, Collezione dell' opere. T. I. S. 105.

führte ihn zur Konstruktion seines »Elletroforo perpetuo«, von dem Fig. 322 ein Bild giebt. *AA* ist die leitende Form, *B* der Harzkuchen, *C* der Schild mit dem isolierenden Handgriffe *E*. Die beiden nebeneinander befindlichen Figuren zeigen, wie man die negative Influenzelektrizität des Schildes mit Hilfe einer Kette oder durch Berührung mit der Hand ableiten kann. Den Harzkuchen stellte Volta her, indem er drei Teile Terpentin und einen Teil Wachs einige Stunden lang zusammenkochte und

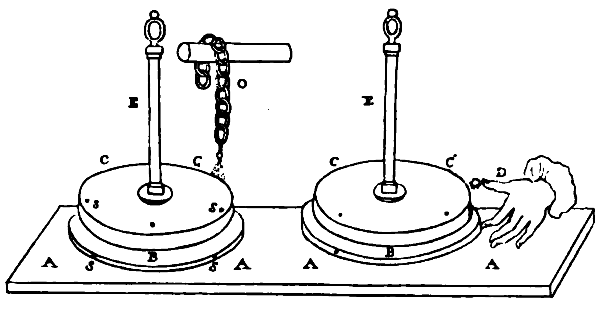


Fig. 322.

dabei, um dem Produkte eine bessere Farbe zu geben, etwas Mennige zusetzte. Doch benutzte er auch statt des Gemisches von Terpentin und Wachs Mastix oder Schellack. Vom Elektrophor zum Kondensator war nur ein Schritt, den Volta[1]) that, indem er in jenem den Kuchen durch eine dünne Firnissschicht ersetzte. Er brachte den neuen Apparat, welcher sich als besonders geeignet erwies, schwache Ladungen zu verstärken, dann auch sogleich mit dem Elektroskop in Verbindung.

4. Elektroskop und Elektrometer.

Das Elektroskop war um die Mitte des 18. Jahrhunderts in zwei Formen im Gebrauche, eine horizontale, auf einer Spitze ruhende Metallnadel, wie sie schon Gilbert benutzt hatte, um zu prüfen, ob ein Körper elektrisch sei oder nicht, und zwei am elektrischen Körper befestigte Fäden, welche sich um so stärker abstießen, je kräftiger der Körper elektrisiert war, wie sie Gray und Du Fay verwendeten. Wie der letztgenannte fand, erwiesen sich leinene Fäden für diesen Zweck als besonders geeignet. An sie hing dann, um die Abstoßung zu vermehren, von Waitz[2]) (1698—1777) zwei Metallplättchen, Canton[3]) ein paar Kügelchen aus Kork oder Hollundermark, während Henley[4]) (gest. 1779) sein Quadrantenelektrometer

1) Volta, Philosophical Transactions. 1782. Vol. 72. S. 237.
2) von Waitz, Abhandlungen von der Elektrizität und deren Ursache. Berlin 1745.
3) Canton, Philosophical Transactions. 1753. Vol. 48. No. 486.
4) Priestley, Ebenda. 1772. Vol. 62. S. 359.

erhielt, indem er ein leichtes Holzstäbchen mit Korkkügelchen drehbar an einem mit Gradbogen versehenen Buchsbaumsäulchen aufhing, so dass das Quadrantenelektrometer als ein spezieller Fall des Elektroskops mit Korkkügelchen anzusehen ist.

Den Elektroskopen schloss sich die 1746 von Ellicot[1]) angegebene elektrische Wage an, eine ähnliche brachte 1747 Gralath[2]) (1739—1809) in Vorschlag. Der elektrische Körper wird bei diesem Apparate unter die eine Schale einer Wage gebracht, und die Größe seiner Anziehung auf die Schale durch Gewichte, welche auf die andere gelegt werden, gemessen. Weniger zweckmäßig war die von d'Arcy[3]) (1725—1779) zu demselben Zwecke verwendete Einrichtung, die ihn mit Hilfe einer Art Aräometer erreichen wollte. Ein zum Teil mit Quecksilber gefülltes Glasgefäß, ein sogenanntes philosophisches Ei, trägt einen Messingdraht mit einem runden Messingplättchen in solcher Weise, dass er aus dem Wasser hervorragt, in welches gebracht, das Ei aufrecht schwimmt. Über das mit Metallrand versehene cylindrische Wassergefäß, in welches es eingesetzt wird, sind kreuzweise zwei Paar Silberdrähte so gespannt, dass der Draht durch das von ihnen gebildete kleine Quadrat hindurchgeht. Elektrisch gemacht, stoßen die Drähte das Plättchen ab und die Größe der Abstoßung lässt auf die Größe der Ladung schließen.

Das Messen einer elektrischen Ladung durch Wägen hat man in der neueren Zeit immer wieder versucht, ohne dass derartige Messapparate zu allgemeiner Anwendung gekommen wären. Um so häufiger wurden die Elektroskope mit den beiden sich abstoßenden Pendelchen angewendet, nachdem Cavallo[4]) (1749—1809) sie in eine Glasflasche eingeschlossen und so die störende Einwirkung der bewegten Luft ausgeschlossen hatte. Denn nun konnte man noch leichtere, die Elektrizität leitende Körperchen anwenden als die bisher benutzten, und als solche wählte Bennet[5]) (1750—1799) 1787 zwei Streifchen Blattgold. Er versah einen kurzen und weiten Glascylinder unten mit einer Messingfassung und setzte ihm oben einen weit übergreifenden Messingdeckel auf, der in seiner Mitte die Goldblättchen, etwas seitwärts eine Hülse zum Einsetzen eines Ladungsdrahtes trug. Den Goldblättchen gegenüber waren innen auf das Glas zwei breite Streifen Zinnfolie aufgeklebt, welche, mit dem Messingdrahte in leitender Verbindung stehend, sowohl dazu dienten, den Apparat empfindlicher zu machen, als auch eine etwaige unregelmäßige, nicht sogleich wieder verschwindende Ladung des Glases durch die Blättchen zu verhindern, eine

1) Ellicot, Philosophical Transactions. 1746. Vol. 44. No. 479 [illegible]
2) Gralath, Versuche und Abhandlungen der naturforsche[illegible] Danzig. 1747. Th. 1. Nr. 6.
3) d'Arcy, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1[illegible]
4) Cavallo, Philosophical Transactions. 1787. Vol. 67.
5) Bennet, Ebenda. Vol. 77. S. 26.

Vorsichtsmaßregel, deren Wichtigkeit in neuerer Zeit Faraday wieder betont hat.

Die bisher besprochenen Elektroskope und Elektrometer waren nur für schwache Ladungen zu verwenden, um stärkere, z. B. die einer Leidener Flasche zu messen, gab Lane[1]) ein Funkenelektrometer an, dessen vereinfachte Form, die Maßflasche, auch jetzt noch zum eisernen Bestande der physikalischen Kabinette gehört. Es ist in Fig. 320, S. 331, abgebildet und dient in dem dargestellten Falle dazu, die Länge der von der Leidener Flasche *D* gelieferten Funken, deren für einen bestimmten Versuch nötige Anzahl gezählt werden musste, zu geben. Der am Konduktor *C* angebrachten polierten Messingkugel gegenüber steht eine zweite *M*, die mit Hilfe der Schraube *L* vor- und zurückgeschoben werden kann. Der Abstand der Kugeln kann auf der Skala *N* in beliebigen Einheiten und an dem Teilkreise *O* in deren Unterabteilungen gemessen werden. Die Kugel *G* kann durch Verstellen einer in der Holzsäule *I* befindlichen Messingsäule gehoben und gesenkt und in jeder Stellung durch die Schraube *H* gehalten werden, so dass die Kugeln *M* und *K*, die immer gut poliert sein müssen, auch bei verschieden großen Flaschen einander genau gegenübergestellt werden können. Das Funkenmikrometer kann auch auf die Flasche selbst gesetzt und mit ihm die Menge der von ihr aufgenommenen Elektrizität gemessen werden. Schaltet man es in einen Leitungskreis ein, in dem sich ein Körper, der der Einwirkung von Entladungen der Flaschen ausgesetzt werden soll, befindet, so kann man die Stärke und Zahl dieser Entladungen genau bestimmen.

Wenn nun auch das Elektroskop sehr schwache Ladungen zu erkennen, ja zu messen gestattete, so reichte in einzelnen Fällen seine Empfindlichkeit doch noch nicht aus. Deshalb versah es 1787 Bennet[2]) mit dem Doppler, Doubler oder Duplikator, einer Vorrichtung, deren Zweck es war, mittels Influenzwirkungen eine gegebene Ladung zu verstärken. Der Doppler bestand aus drei Metallplatten, von welchen die eine auf dem Deckel des Elektroskops befestigt wurde. Ihre Oberseite war gefirnisst; auf sie wurde eine zweite Platte gelegt, die auf beiden Seiten, aber nicht am Rande gefirnisst war und eine seitliche isolierte Handhabe trug, auf sie endlich die dritte unten gefirnisste, oben mit isoliertem Handgriff. Um den Apparat zu benutzen, teilte man dem Elektroskop, auf welches die unterste Platte aufgesetzt war, die zu vervielfältigende Elektrizitätsmenge mit, legte die zweite Platte auf und berührte deren ungefirnissten Rand mit dem Finger. Darauf nahm man sie isoliert ab, legte die dritte Platte auf sie auf und berührte deren obere isolierte Fläche ableitend. War das [illegible] so brachte man die zweite Platte auf die am Elektroskop be[illegible]ck und berührte nun diese mit der dritten, während an

[illegible] Transactions. 1767. Vol. 57. S. 45.
[illegible] Vol. 77. S. 288.

den Rand der zweiten der Finger gelegt wurde. So sollte die ursprüngliche Ladung verdoppelt werden, ohne dass man wie beim Kondensator einer Elektrizitätsquelle bedurfte, welche fortwährend neue Elektrizität zu liefern im stande war. Wenn gegen diese Verdoppelung der Ladung vom theoretischen Standpunkte nun auch nichts eingewendet werden konnte, so erhielt Cavallo[1]), als er die Wirkung des Dopplers untersuchte, doch nur ungenaue Ergebnisse, weil durch die Reibungen der Firnissschichten aneinander oder durch die Berührung mit dem Finger neue Elektrizität erzeugt wurde. Er suchte deshalb die Firnissschichten durch Luftschichten zu ersetzen, indem er die drei Platten senkrecht vor einander aufstellte. Aber auch so gelang es ihm nicht genauere Resultate zu erhalten, das Instrument zeigte immer Ladungen an, welche die Platten zurückbehalten hatten. Er änderte deshalb den Apparat dahin ab, dass er eine senkrecht auf Glasfüßen aufgestellte Zinkplatte dauernd mit dem Elektroskop, vorübergehend mit der Elektrizitätsquelle verband, auf deren beiden Seiten aber zwei um Scharniere drehbare Holzplatten anordnete, deren der Zinkplatte bei ihrer aufrechten Lage zugewendeten Seiten mit Zinnfolie überzogen waren.

Die Handhabung auch dieses Apparates war recht unbequem und die Notwendigkeit der verschiedenen Berührungen seiner Platten gab zu öfteren Irrungen Anlass. Deshalb konstruierte in dem nämlichen Jahre 1788 Nicholson[2]) (1753—1815) einen Doppler, bei dessen Gebrauch nur eine Kurbel zu drehen war, während dabei die notwendigen Berührungen ohne weiteres Zuthun des Beobachters von selbst eintraten. Diesen Doppler zeigt

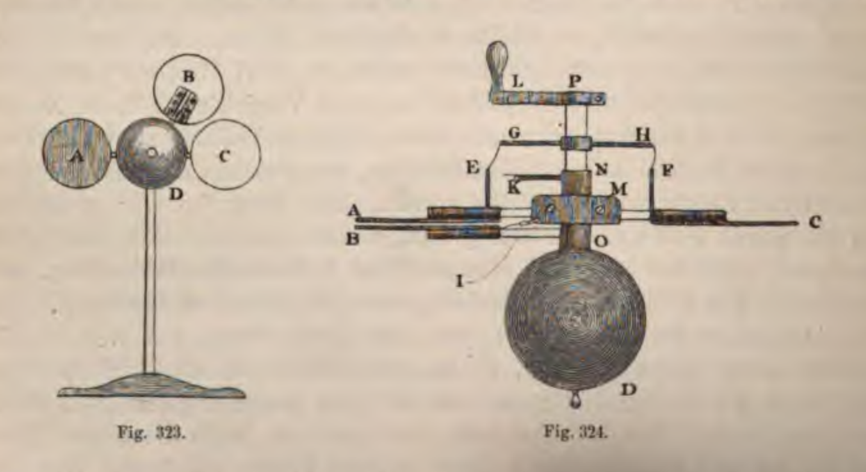


Fig. 323. Fig. 324.

Fig. 323 in der Vorderansicht, Fig. 324 im dop[...]tabe im Grundrisse. Eine 6½ Zoll engl. hohe Glassäule trägt

1) Cavallo, Philosophical Tra[...]
2) Nicholson, Ebenda. 178[...]

deren Hälfte ON aus Messing, deren andere Hälfte NP aus Glas besteht und welche durch die an der letzteren befestigte Kurbel L von 2 Zoll Durchmesser in Drehung versetzt werden kann. Mit der Achse dreht sich die isolierte Messingplatte B, während die gleichfalls isolierten Platten A und C feststehen. Jede dieser Platten hat 2 Zoll im Durchmesser und ist mit Adjustiervorrichtungen, die die Platten genau parallel zu stellen gestatten, versehen, so dass B vor A und C gerade vorbei geht, ohne sie zu berühren. Als Gegengewicht für die bewegliche Scheibe dient die Kugel D; sie ermöglicht, dass B in jeder Lage stehen bleiben kann. Die festen Scheiben tragen die Bolzen E und F, welche aus ihnen in ungleichem Abstand von der Achse hervorragen. Das Kreuzstück GH und der Arm K liegen in einer Ebene, drehen sich aber ebenfalls mit der Achse. An ihrem Ende sind kurze federnde Drähte so befestigt, dass sie in bestimmten Lagen die Bolzen E und F mit Sicherheit berühren. Ein ebensolcher Draht I setzt die Achse und ihr Lager mit der beweglichen Platte in bestimmten Stellungen in Verbindung. Die Drähte GE und NF aber sind so gebogen, dass in dem Augenblick, in dem die rotierende Platte sich vor der festen A befindet, das Kreuzstück GH die beiden festen Platten in Verbindung setzt, während zugleich der Draht I sich an B legt und mit ihm die Kugel verbindet, in dem Augenblicke aber, in welchem B vor C steht, K mit F und C in Berührung kommt, während die Platten A und B mit keinem Teile des Apparates leitend verbunden sind. In jeder anderen Lage sind die Platten und die Kugel von einander isoliert.

Die Wirkungsweise des Apparates ergiebt sich somit ohne Schwierigkeit folgendermaßen. Hat die Kugel D in der in Fig. 324 gezeichneten Lage eine schwache Ladung bekommen, so verbreitet sich diese über B und bewirkt eine fast ebenso starke Ladung auf A von ungleichnamiger, von C mit gleichnamiger Elektrizität. Wird dann B um 180° gedreht, so stößt seine Ladung die von C ab und treibt sie in die Kugel D, von wo sie bei abermaliger Drehung von 180° auf die Ladung von B verstärkend wirkt, dadurch wieder die Ladung von A vergrößert u. s. w. Durch mancherlei Apparate der Neuzeit hat Nicholsons Doppler wieder an Interesse gewonnen. Für genaue Messungen, bei welchen anfangs die Elektrizitätsquelle, später das Elektroskop mit der Kugel D verbunden wird, erwies er sich nicht tauglich.

Auch die Apparate, mit deren Hilfe Waitz und später Achard[1] (1753—1821) aus dem Gewicht und dem Ablenkungswinkel eines nach Art des Henleyschen Quadranten an einer Messingsäule aufgehängten Kugel von Metall oder Meerschaum die elektrische Abstoßung mit dem

[1] Achard, Beschäftigungen der Berliner Gesellschaft naturforsch. Freunde. I 1775. S. 53. Vgl. Gehler, physikalisches Wörterbuch. III. Leipzig 1827.

Zug der Schwerkraft vergleichen wollten, gaben keine zuverlässigen Resultate. Als demnach Coulomb[1]) (1736—1806) in der ersten Hälfte der achtziger Jahre des 18. Jahrhunderts die Gesetze der elektrischen Fernwirkung aufstellen und prüfen wollte, musste er sich erst Messapparate konstruieren, welche für diesen Zweck die nötige Genauigkeit besaßen. Er maß die Größe der Abstoßung oder Anziehung zweier elektrischer Kügelchen mit Hilfe der Kraft, mit der ein tordierter Draht in seine

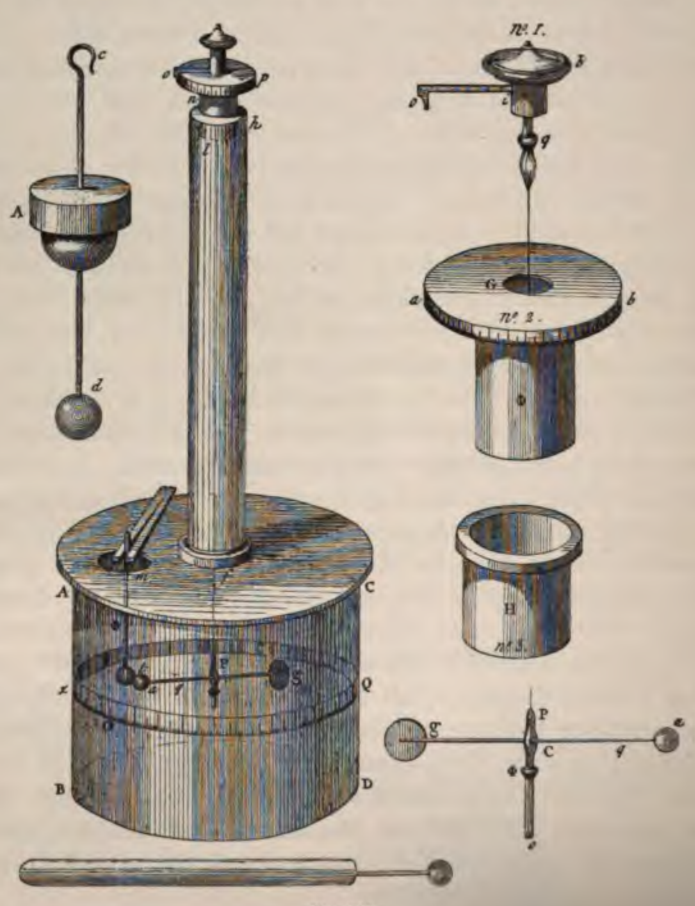


Fig. 325.

Gleichgewichtslage zurückzugehen strebt. Das Instrument, welches er zu diesem Zwecke benutzte, war die Drehwag[illegible] die namentlich in den Händen von Rieß und mit einiger Veränderung i[illegible] [illegible]nen von R. Kohlrausch ein so nützliches Instrument geworden ist, [illegible]
führt. Wir können auf seine nähere B[illegible]
Apparat auch jetzt noch fast gena[illegible]

1) Coulomb, Mémoires de l'Aca[illegible]

gegebenen Form benutzt wird. Ließen sich mit ihm durch die Größe der Torsion, welche zur Herstellung gleicher Ablenkungswinkel bei verschiedenen großen Ladungen notwendig war, die von ihnen ausgeübten Wirkungen messend verfolgen, so konnten auch in mechanischem Maß die Torsionskräfte gefunden werden, wenn die Nadel *ag* in Schwingungen versetzt und die Schwingungsdauer beobachtet wurde.

5. Die Luftelektrizität.

Die Drehwage hat sich später auch als vortrefflich geeignet zur Untersuchung der Luftelektrizität erwiesen; doch stellte man Beobachtungen, die deren Größe zu finden zum Zwecke hatten, bereits auch vor ihrer Erfindung an. Die dazu dienenden Apparate haben wir nun noch zu betrachten.

Dass die Luft stets elektrisch ist, hatte wohl als der erste bereits 1752 Le Monnier[1]) erkannt, zwei Jahre, nachdem Franklin den Blitzableiter vorgeschlagen hatte, in demselben Jahre, in welchem Franklins Ideen durch Versuche, die man in Frankreich anstellte, bestätigt worden waren. Die Spitzenwirkung des Blitzableiters, die elektrische Natur des Gewitters wurden so nachgewiesen und man beschäftigte sich überall mit dem Beobachten und dem Studium der Luftelektrizität, legte überall unterbrechbare Blitzableiter an und so konnte es nicht ausbleiben, dass diese gelegentlich auch Unglück anrichteten. Es ist bekannt, dass auf diese Weise der Petersburger Akademiker Richmann, der sich eingehend mit solchen Versuchen beschäftigte[2]), 1753 sein Leben verlor. Seine Apparate und seinen Tod hat Winkler[3]) ausführlich geschildert. Die Einrichtung, die Richmann zur Beobachtung der Luftelektrizität benutzte und die er den »Gnomon Electricitatis« nannte, war die in Fig. 326 dargestellte. Die Kette [illegible]sstange, einem vier oder fünf Fuß über den Dach-

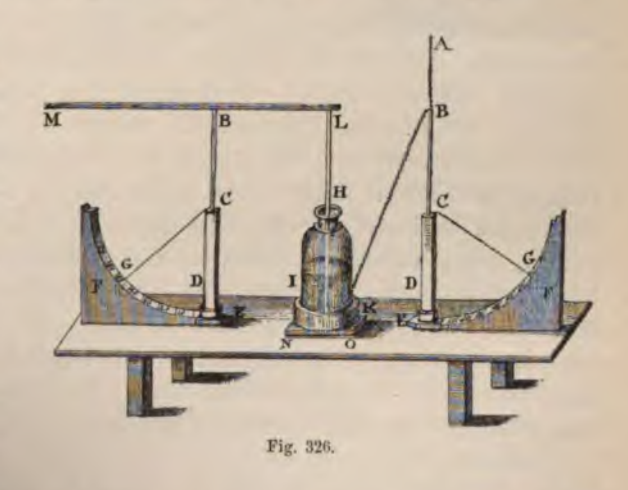


Fig. 326.

[1]) ... de l'Académie Royale de Paris. 1752.
[2]) ... tarii Petropol. IV ann. 1752 et 1753. S. 310.
[3]) ... ndi fulminis artificio, secundum Electricitatis ... Nova Acta Eruditorum. 1755. S. 117.

first emporragendem eisernen Stabe. Um ihn isoliert durch das Dach hindurchzuführen, war er mittels eines Korkes in den Hals einer Flasche befestigt, deren Boden durchbohrt war. Durch ihn ging die Stange hindurch, während die Flasche mit den Ziegeln fest verbunden war. Die am unteren Ende der Stange befindliche Kette führte zu einem Metalldraht *CB*, welcher auf dem Metallstab *CD* befestigt war. Dieser Stab stand in dem mit Feilspänen gefülltem kleinen Glasgefäße *E*, den an seinem oberen Ende befestigten linnenen Faden *CG* stieß er ab, sobald ihm die Kette *AB* Elektrizität aus der Luft zuführte. Das Ende *G* des Fadens bewegte sich dabei über die an dem Brette *F* angebrachte Gradeinteilung und der an dieser abgelesene Ablenkungswinkel ließ demnach auf die Stärke der Ladung und damit der sie bewirkenden Luftelektrizität schließen.

Diese Beschreibung bezieht sich auf den in Fig. 326, S. 343, rechts gezeichneten Apparat, zuweilen benutzte Richmann aber auch den links dargestellten. Dabei wurde die Auffangstange mit der äußeren Belegung einer durch die Glasscheibe *NO* isolierten Leidener Flasche *HK* in Verbindung gebracht, während deren innere Belegung durch den Stab *HL* an die horizontale Metallstange *ML* angeschlossen wurde, die wiederum mit dem Drahte *BC* und der den linnenen Faden *CG* tragenden Säule *CD* verbunden wurde. Einen derartigen Gnomon benutzte Richmann, wenn ein Gewitter am Himmel stand. Er erhielt dann viel stärkere Wirkungen wie sonst.

Als am 26. Juli 1753 ein solches über Petersburg hinzog, war Richmann in Gesellschaft des Akademikers Sokolow mit seinen Beobachtungen beschäftigt. Da sah der letztere, wie Winkler berichtet, aus dem Stab *CD* des rechten Gnomon »einen bläulichen, faustgroßen Feuerball gegen die Stirn Richmanns heraustreten, welcher in einem Abstand von einem Fuß von dem Stab mit den Augen den Elektrizitätszeiger verfolgte. Der Schlag durchbohrte Richmann, indem ihn ein Knall, wie der einer kleineren gewöhnlichen Büchse begleitete. Der Metallstab *BC* wurde zerrissen, seine umhergeschleuderten Teile brannten in Sokolows wollene Kleidung durch die aufgenommene Hitze Streifen von der Breite des Metalldrahtes. Von dem Glasgefäße *E* wurde die eine Hälfte abgeschlagen und die Metallspäne stoben umher. Hiernach ist es klar, dass die Gewalt des Blitzes in dem rechten Stab *CD*, welcher im Glasgefäße *E* in den Metallspänen stand, vereinigt gewesen war.«

Nachdem man so in erschreckender Weise auf die große Gefahr, die solche Versuche mit sich bringen konnten, aufmerksam geworden war, bemühte man sich Apparate herzustellen, die gefahrlos die so wichtigen Beobachtungen machen ließen. Fig. 327 zeigt den Apparat, den Winkler[1]) zu diesem Zwecke baute. Er nahm zwei trommelförmige aus Blech gefertigte Gefäße *AB* und *CD*, an deren Deckeln Eisenstäbe befestigt waren, welche an dem Joche *IK* hingen. Mittels des in seiner Mitte befindlichen

---

1) Winkler, Nova Acta Eruditorum. 1755. S. 130.

gebogenen Stückes GH war dieses an der senkrechten Säule EF befestigt. Wie die Durchschnittsfigur 328 zeigt, war der mittlere Teil der Trommeln hohl und in ihnen an seidenen Fäden ein Fischbeinstab so aufgehängt, dass er mit den Trommelwänden nicht in Berührung kommen konnte. Die den Trommeln aufgesetzten Deckel verhinderten, dass Regen in sie eindringen konnte, denselben Zweck hatte der Ansatz ef, durch den der Fischbeinstab hindurchging. Der letztere war allseitig zwei Zoll von den Wänden des Ansatzes ef entfernt. An die Stäbe ist der Metallstab LM in solchem Abstande von den Trommeln angeschraubt, dass eine Berührung zwischen beiden nicht stattfinden kann. Am Ende L des Stabes ist eine Metalltafel zum Auffangen von Regentropfen angebracht. »Am Ende[1] M befindet sich eine kleine Säule po, welche hin und her bewegt und durch eine Schraube befestigt werden kann. Sie ist hohl und in ihr befindet sich ein Metallstift mit rundem Kopf, welcher auf und nieder zu bewegen und ebenfalls mit einer Schraube festzustellen ist. An die Trommel CD ist ein gebogener Metallstift mit abgerundetem Ende DN in horizontaler

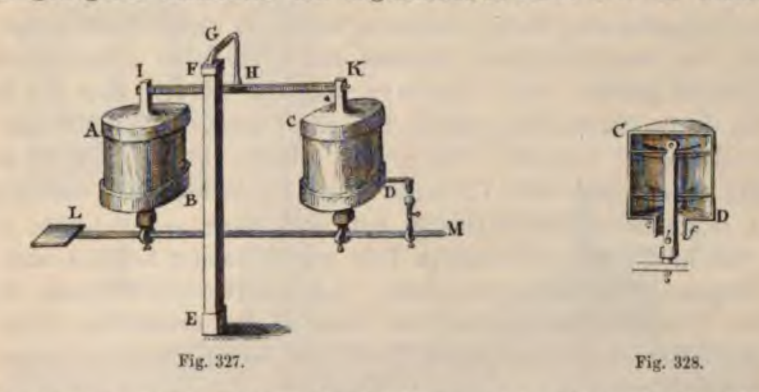


Fig. 327. Fig. 328.

Lage befestigt, unter welchem die Säule po ihren Platz erhält, indem ein bestimmter Zwischenraum zwischen beiden bleibt. Dies Instrument muss, wenn es zur ungefährlichen Beobachtung der atmosphärischen Elektrizität dienen soll, unter freiem Himmel fern von menschlichem Getriebe und menschlichen Gebäuden an einem derart sichtbarem Orte aufgestellt sein, dass der Beobachter aus der Ferne, sei es mit bloßen, sei es mit mit dem Fernrohr bewaffneten Augen den Abstand zwischen N und o beobachten kann. Denn aus dieser Beobachtung ist das elektrische Feuer zu erkennen, wenn der Stab LM von der durch die Luft zerstreuten elektrischen Materie geladen wird«. Der Beobachter hatte also auf die hier auftretenden Funken zu achten. Die Anwendung der Platte L aber deutet darauf hin, dass [illegible] den Regen für elektrisch, vielleicht für den Träger der zur [illegible] den Wolkenelektrizität hielt.

[1] [illegible] Nova Acta Eruditorum. 1755. S. 130. Die Buchstaben p und o des [illegible] Figur; sie gehören an die beiden Enden der auf LM verschieb- [illegible] etzenden kleinen Säule.

Der Magnetismus um die Mitte des 18. Jahrhunderts.

In den ersten Jahrzehnten des 18. Jahrhunderts war man auf die natürlichen Magnete angewiesen, wenn man mit starken Magneten arbeiten wollte, Mittel zur Herstellung künstlicher besaß man noch nicht. Die natürlichen Magnete standen deshalb hoch im Preis. So zahlte 1716 der Landgraf Karl von Hessen an Hartsoeker für einen natürlichen Magneten von ½ Lot Gewicht, welcher 1 Pfund und 1 Lot Eisen trug, 100 Gulden rhein.[1]) und derselbe Hartsoeker klagte dem ihn 1711 besuchenden Frankfurter Ratsherrn von Uffenbach[2]), »dass die Magnete so theuer seyen, er habe durch seinen Sohn in Paris zwey tausend Gulden auf ein roh Stück bieten lassen, so kaum die Helfte so groß als seine Faust, man wolte aber drey tausend haben«. Unter diesen Umständen war es begreiflich, dass man nach Methoden suchte, mit Hilfe natürlicher Magnete kräftige künstliche zu erhalten und eine solche fand zuerst Servington Savery[3]), der die Art des Magnetisierens durch einfachen Strich im Jahre 1730 angab, eine Methode, die bereits Gilbert erwähnt hatte, die aber später wieder in Vergessenheit geraten war. Saverys Magnete wurden aber an Stärke weit von denen übertroffen, welche Knight[4]) (gest. 1772) 1744 und 1745 der Royal Society vorlegte. Wie er sie erhalten hatte, hielt er freilich sorgfältig geheim und erst 1779 teilte Wilson[5]) darüber mit, dass Knight den zu magnetisierenden Stahlstab auf zwei stark magnetisierte andere legte, welche die ungleichnamigen Pole gegeneinander kehrten und dann diese langsam voneinander entfernte. Auch verfertigte er nach Angabe desselben Gewährsmannes künstliche Magnete im eigentlichen Sinne des Wortes, indem er sie aus einer Paste von Eisenfeilspänen formte und diese magnetisierte.

Die Methode Knights war also noch nicht die des doppelten Striches. Diese schlugen unabhängig voneinander 1750 Canton und Michell (gest. 1793) vor. Canton[6]) legte die zu magnetisierenden Stäbe nebeneinander und verband ihre Enden durch Querstücke von Eisen. Über sie führte er zwei durch eine dazwischen gelegte Stecknadel getrennte Magnetstäbe, die mit entgegengesetzten Polen gegen sie gerichtet waren, indem er sie zuerst über den einen der zu magnetisierenden Stäbe, dann über den anderen

---

1) Akten des Königl. Museums zu Kassel. Vgl. Cöster und Gerland, Beschreibung u. s. w. S. 42.

2) v. Uffenbach, Merkwürdige Reisen durch Niedersachsen, Holland und Engelland. Frankfurt und Leipzig. 1753. Bd. III. S. 730.

3) Savery, Philosophical Transactions. 1730. Vol. 36. No. 414. S [illegible]

4) Knight, Ebenda. 1744. Vol. 43. No. 474. S. 161 und 1745. S. 361.

5) Wilson, Ebenda. 1779. Vol. 69. S. 51.

6) *Canton*, Ebenda. 1752. Vol. 47. S. 31.

hin und her schob und dann seitwärts abzog. Mittels des einfachen mit zwei Magneten ausgeführten Striches suchte er dann die magnetisierten Stäbe noch zu verstärken. Die ersten noch schwachen Magnete erhielt Canton mit Hilfe des Erdmagnetismus, indem er sie an eine vertikal gestellte Eisenstange band und mit einer anderen ebenso so gehaltenen rieb.

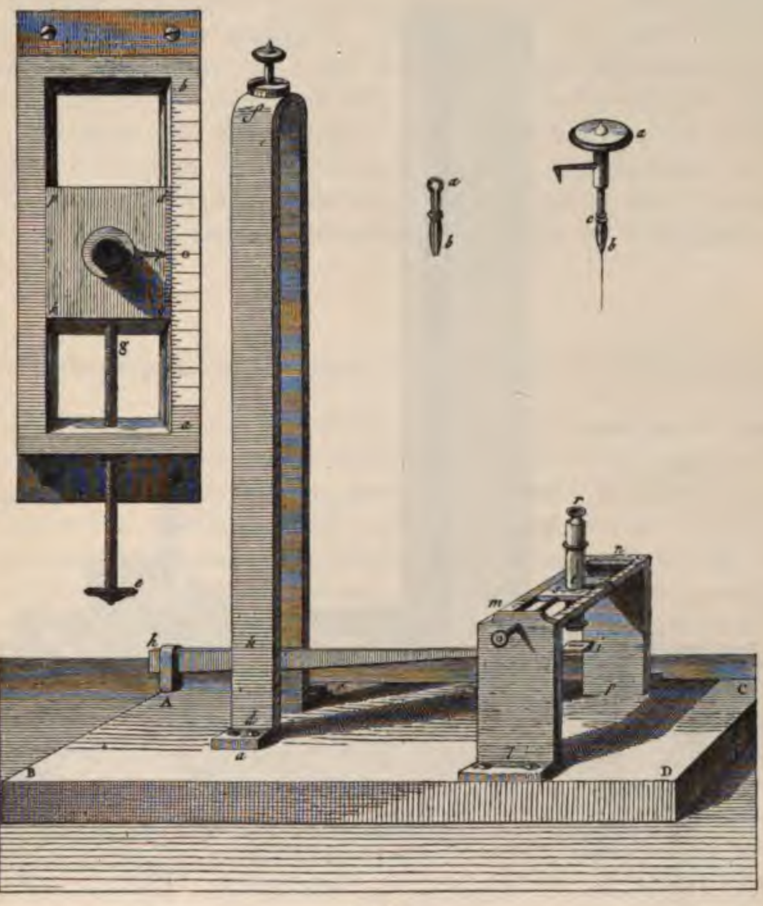


Fig. 329.

Michell[1]) magnetisierte eine Anzahl dünner Stäbe, nachdem er sie der Länge nach aneinander gereiht hatte, durch Streichen mit zwei Magneten, deren entgegengesetzte Pole durch ein dazwischen gelegtes Stückchen Holz getrennt waren. Da er dabei beobachtete, dass die in die Mitte gelegten … stärker magnetisch wurden, wie die, welche sich näher an den Enden … hatten, so magnetisierte er diese nochmals, während er die an-

A treatise on artificial magnets. Cambridge 1750.

deren an die Enden legte, sie aber nicht mehr strich. Er fasste sie dann zu mehreren zu einem Magneten zusammen.

So hatte man gelernt, starke Magnete herzustellen. Es ergab sich nun die Aufgabe, die Gesetze ihrer Abstoßung und Anziehung in ähnlicher Weise wie man die der elektrischen erhalten hatte, zu finden. Wieder war

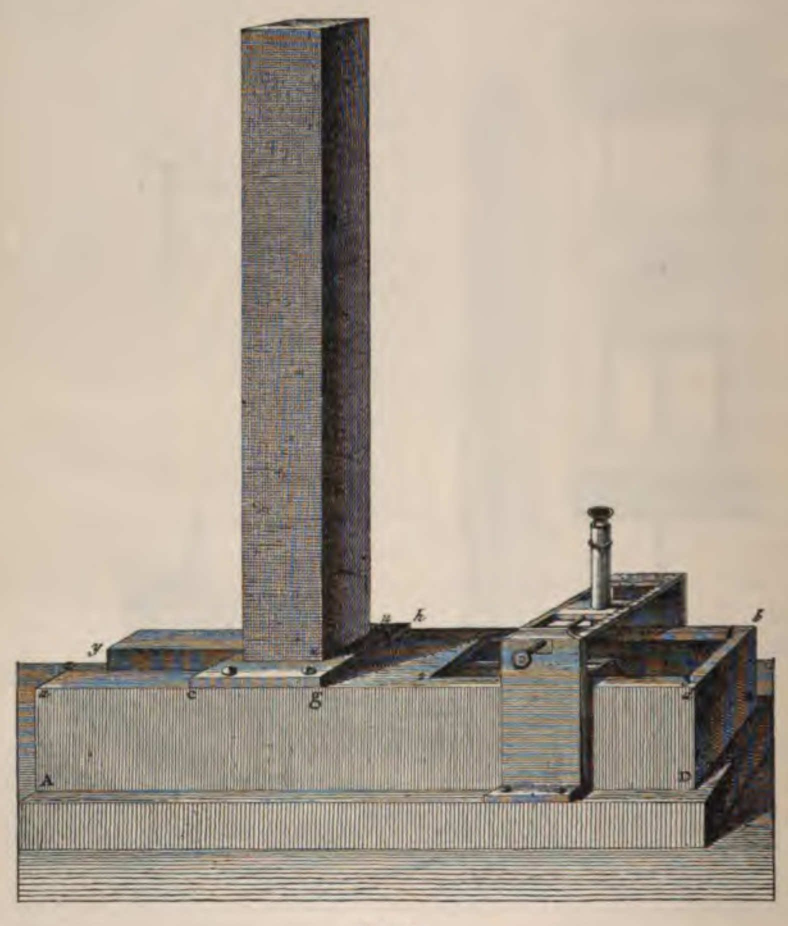


Fig. 330.

es Coulomb[1]), der diese Aufgabe löste. Indem er sich dazu der Drehwage in etwas vereinfachter Gestalt bediente, zeigte er, dass dies Gesetz dieselbe Form hatte, wie das die Wirkung elektrischer Körper aufeinander gebende.

Doch blieb er dabei nicht stehen, sondern stellte auch Versuche an zur Ermittelung der Änderungen der Deklination, wie man nun die Variationen

1) *Coulomb*, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1785. S. 578.

der Magnetnadel nannte. Den dazu dienenden Apparat[1]), das erste Magnetometer, führen die Figg. 329, S. 347, und 330, S. 348, vor Augen. Die erstere zeigt die Teile des Apparates, die letztere ihn mit den Umhüllungen, in welche jene zur Abhaltung der Luftströme gesetzt werden. Der Magnetstab *hi* ist an einem Seidenfaden an dem Bügel *fa* in derselben Weise aufgehängt, wie der der Drehwage. Die beiden Teile sind ungleich, der kürzere breiter und mit einem Laufgewicht *A* versehen, dessen Verschiebung seine genaue horizontale Aufstellung ermöglicht. Der längere Teil trägt bei *i* eine Scheibe mit einer Marke, über der das mittels einer Mikrometerschraube senkrecht zum Stab verschiebbare Mikroskop *rl* so aufgestellt ist, dass die Marke sich unter dem Fadenkreuz befindet. Die der Fig. 329 zugefügte Nebenfigur links zeigt das Mikroskop vergrößert im Grundriss. So ließ sich die Stellung der Achse des Magneten und daraus der Ablenkungswinkel von einer bestimmten Anfangslage aus, die in der Nebenfigur mit *o* bezeichnet ist, finden.

Die meteorologischen Stationen am Ende des 18. Jahrhunderts.

Wie wir bereits mehrmals erwähnten, hatten die Accademia del Cimento und die Royal Society es unternommen, gleichzeitige meteorologische Beobachtungen an verschiedenen Orten anstellen zu lassen. In ähnlichem Sinne hatte Leibniz zu wirken gesucht. Aber man hatte sich auf Temperatur- und Luftdruckbeobachtungen beschränkt, und nennenswerte Erfolge hatten diese Bestrebungen nicht aufzuweisen. Seitdem waren Messapparate auch für die übrigen meteorologischen Elemente angegeben. Nahm man jetzt jene Pläne wieder auf, so durfte man hoffen, ein viel vollständigeres Material zu erhalten. Es ist das Verdienst Lamberts[2]), von neuem auf den großen Nutzen, den solche korrespondierenden Beobachtungen stiften konnten, hingewiesen zu haben. Seine Anregung suchte 1778 der Karlsruher Professor Boeckmann[3]) (1741—1802) Folge zu geben. Aber wenn er auch Beobachtungen von vielen Orten Deutschlands bekam, so gelang es ihm noch nicht, sie nach einem Plane zu verarbeiten und zu veröffentlichen, und so war von solchen gleichzeitigen Beobachtungen für die Wissenschaft erst Nutzen zu erhoffen, als 1780 der Kurfürst Carl Theodor von der Pfalz, der seit 1763 in Mannheim bestehenden Akademie der Wissenschaften eine meteorologische Klasse zufügte[4]) und sie mit Instrumenten ausrüstete, die in damaliger Zeit die besten ihrer Art waren. Die

1) Coulomb, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1785. S. 568.

2) Lambert, Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale de Berlin. 1771. S. 60 ff.

3) Boeckmann, Wünsche und Ansichten zur Erweiterung und Vervollkommnung der Witterungslehre. Karlsruhe 1778.

4) Traumüller, Die Mannheimer meteorologische Gesellschaft. Leipzig 1885. S. 2 ff.

Akademie suchte durch Zusendung solcher Apparate an deutsche und außerdeutsche Orte neue Stationen zu errichten und erhielt so Beobachtungen von 39 anderen Stationen, die sie in ihren Ephemeriden von 1783 an veröffentlichte. Die Belagerung Mannheims durch die Franzosen machte ihrer Thätigkeit ein Ende. Doch bildeten die in zwölf Quartbänden niedergelegten Beobachtungen bis in die erste Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts die einzige Quelle zuverlässiger und vergleichbarer meteorologischer Beobachtungen [1]).

Für uns haben nur die dafür verwendeten Instrumente Bedeutung. Barometer und Thermometer bieten nichts besonderes. Als Hygrometer diente ein De Lucsches Instrument, dessen Elfenbeincylinder Retzius [2]), nach anderen Buissart [3]) durch die Spule einer Gänsefeder ersetzt hatte. Das Anemometer bestand nur aus einer Windfahne; einen Windstärkemesser, dessen Angaben genau genug gewesen wären, hatte der Leiter der meteorologischen Sektion, der Hofkaplan des Kurfürsten, Hemmer, nicht ausfindig machen können. Vom Regenmesser giebt Fig. 331 ein Bild. Er bestand aus einem Messinggefäße AB von 2 Fuß Länge, 2 Fuß Breite und 6 Zoll Tiefe, dessen Innenraum eine flache vierseitige Pyramide bildete. Das hineinfallende Regenwasser floss durch die Bleiröhre fg in das würfelförmige Sammelgefäß Q und dann allmählich aus der Öffnung p in das ebenso gestaltete Messgefäß R, das einen Inhalt von 27 Kubikzoll hatte. Es befand sich innerhalb des Gebäudes und seine Innenflächen waren von unten nach oben in Pariser Linien geteilt. Als Verdunstungsmesser benutzte die Gesellschaft anfangs den in Fig. 332 abgebildeten Apparat, dessen Abbildung sie jedoch ohne Beschreibung veröffentlichte. Offenbar sollte der senkrechte Maßstab, den die Schraube fx bewegte, die ganzen, die Teilung des Schraubenkopfes die Unterabteilungen des Maßes geben. Später wandte sie den in Fig. 333 wiedergegebenen Apparat an, ein würfelförmiges Gefäß aus Messing, in dessen einer Fläche eine Glasscheibe eingesetzt war.



Fig. 331.

1) Traumüller, Die Mannheimer meteorologische Gesellschaft. Leipzig 1885. S. 44.
2) Retzius, Météorologie appliquée à la médecine et à l'agriculture.
3) Copineau, Journal de Physique. 1780. T. 15.

Neben dieser war als Maßstab eine in Zoll und Linien geteilte Messingplatte und ein mit Hilfe einer Schiene verschiebbarer Nonius angebracht.

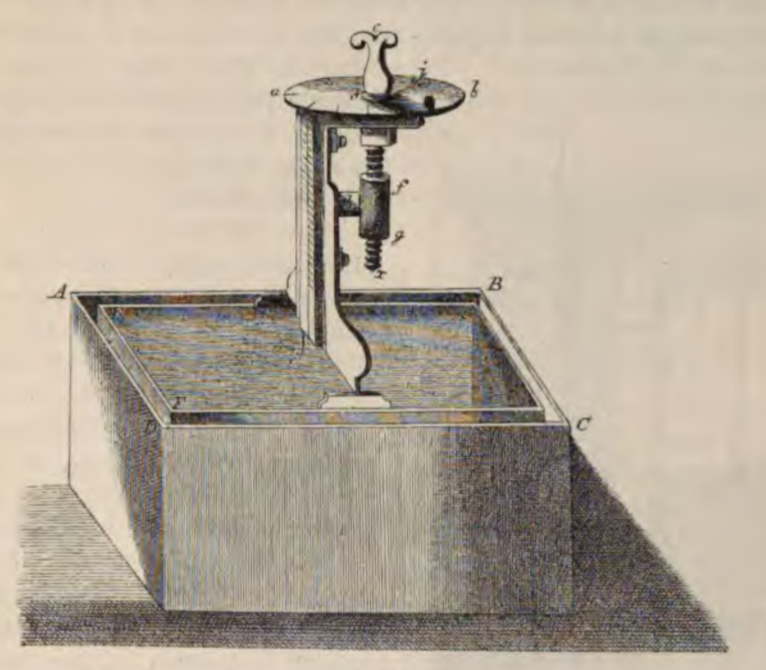


Fig. 332.

In das Gefäß wurde reines Regenwasser von der Temperatur der Luft gegossen, die während eines Regens hinzugekommene Wassermenge mit dem Regenmesser bestimmt.



Fig. 333.

Auch für magnetische und elektrische Messungen waren Apparate vorgesehen. Das von **Brander** in Augsburg verfertigte Deklinatorium giebt Fig. 334. Die von einer feinen Stahlspitze getragene Magnetnadel befand



Fig. 334.

sich in dem mit Glasdeckel versehenen Kästchen *B*, welches sich um seine Achse drehen ließ. Um die Größe der Drehung zu messen, war auf der

Bodenplatte A eine Kreisteilung angebracht, auf der als Limbus eine mit dem Kästchen den Nonius tragende Alhidade N sich hin bewegte. Die Diopter P und Q ließen die Richtung des Meridians bestimmen. Um die Deklination zu erhalten, brauchte man nur das Kästchen B zu drehen, bis eine in seine Mitte gezogene Linie gerade unter die Nadel zu liegen kam und den Stand des Nonius abzulesen, was die Teilung von 3 zu 3 Minuten zu thun erlaubte.



Fig. 335.

Das Elektrometer zeigt Fig. 335. kg ist ein Draht, der mit einer hohen, alle Teile des Gebäudes überragenden Auffangstange in leitender Verbindung steht. Sie führt zu der Querstange tS, die bei t ein aus Linnenfäden mit Hollundermarkkügelchen bestehendes Elektroskop, an der anderen Seite S eine Messingkugel trägt. Dieser gegenüber ist verschiebbar eine zweite, N, aufgestellt, die mittels des Drahtes B zur Erde abgeleitet ist. Das Elektroskop lässt schwache Elektrizität beobachten, stärkere Ladungen bewirken einen zwischen S und V übergehenden Funkenstrom. Um das Zeichen der Elektrizität zu bestimmen, ist der Kasten Z aufgestellt, dessen Durchschnitt Fig. 336 zeigt. In ihn herein sind isoliert die Drähte ea und cd geführt, die auf beiden äußeren Enden mit Ringen versehen sind. Durch Ketten, welche in diese eingehängt sind, kann e mit der Zuleitungsstange $kbgn$, c mit der Erde leitend verbunden werden. Die inneren Enden der Drähte tragen die Platten a und b, von denen jede mit einer der anderen zugekehrten Spitze versehen ist. Die Schraube h erlaubt sie einander zu nähern oder voneinander zu entfernen. Ein mit Glas verschlossenes Fensterchen W lässt in den Kasten und auf die Spitzen blicken, zwischen denen und den Platten bei richtig geregeltem Abstande Entladungen übergehen, wenn die Auffangstange elektrisch geworde[illegible] ler Luft- oder Wolkenelektrizität [illegible]



Fig. 336.

Zeigt die an a befindliche Spitze [illegible]
zeigt sie ein Glimmen, so geht ne[illegible]

der anderen Spitze geschieht nur der Kontrolle wegen. Die Eisenstange JG dient nur als Träger.

So waren die Instrumente der Mannheimer meteorologischen Gesellschaft ebenso vollständig, als im einzelnen wohl durchdacht und somit geeignet, zu zeigen, wie weit am Ende des achtzehnten Jahrhunderts die meteorologische Forschung vorgeschritten war. Wie genau die mit ihnen erhaltenen Beobachtungen waren, beweist ihre Benutzung durch Leopold von Buch, durch Alexander von Humboldt, durch Brandes, durch Daniell u. a., deren Arbeiten ohne sie unmöglich gewesen wären.

Die strömende Elektrizität.

1. Galvani und die Entdeckung der strömenden Elektrizität.

Mit den Nervenerschütterungen, die die Entladungen der Elektrisiermaschine, namentlich, wenn sie durch die Leidener Flasche verstärkt wurden, bewirken konnten, hatten die Schläge, die einige im Mittelmeere und dem Nil lebenden Fische, wie der Zitterrochen (Torpedo marmorata) und Zitterwels (Malapterus electricus), die die Krampffische, wie man sie nannte, erteilen konnten, die größte Ähnlichkeit. Zwar hatte man die Ansicht, die noch Réaumur[1]) für die wahrscheinlichere hielt, dass diese Schläge nur durch sehr rasche Muskelbewegungen verursacht würden, fallen lassen müssen, als Walsh[2]) (gest. 1795) die elektrische Natur dieser Schläge dargethan hatte. Aber nun kehrte man die Sache um, und wie man früher den elektrischen Schlag für eine Muskelbewegung erklärt hatte, so erklärte man nunmehr alle Muskelbewegungen für elektrische Erscheinungen. In einer Zeit, wo man von der strömenden Elektrizität keine Ahnung hatte, musste eine solche Erklärung allerdings phantastisch genug ausfallen. Nach des Pater Beccaria (1716—1781) Ansicht, der schon 1753 an Fröschen elektrische Versuche anstellte, sollte es ein »elektrischer Dunst« sein, der sich durch die Muskeln und Nerven der Tiere bewege. »Die Geschwindigkeit«, sagt er[3]), »mit welcher sich der elektrische Dunst in wechselnder Richtung bewegt, verweilt und von neuem sich frei macht, scheint zur Erklärung der Geschwindigkeit und des Wechsels der tierischen Empfindungen und Bewegungen auszureichen«. Das führte auf die Annahme einer spezifischen tierischen Elektrizität.

Man gab sich nun alle erdenkliche Mühe, eine solche auch anderweitig nachzuweisen. Versuche wurden in dieser Richtung namentlich von den Physiologen und Medizinern angestellt und die unglücklichen Frösche

1) Réaumur, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1714. S. 447. Vgl. …r, phys. Lexikon. IV. Leipzig 1827. S. 310.
…lsh, Philosophical Transactions. 1774. Vol. 63. S. 461.
…aria, Dell' elettricismo artificiale e naturale. Torino 1753. S. 126.

mussten in Menge ihr Leben im Dienste der Wissenschaft lassen. Bei solchen Versuchen beobachtete im Jahre 1790 der Professor der Anatomie und Physiologie in Bologna, Luigi Galvani (1737—1798) eine merkwürdige Erscheinung, welche er folgendermaßen schildert[1]: »Ich sezierte einen Frosch und präparierte ihn, Fig. 337 [Fig. 2], und legte ihn, mich alles anderen versehend, auf einen Tisch, auf dem eine Elektrisiermaschine stand, weit von deren Konduktor getrennt und durch einen nicht gerade kurzen Zwischenraum geschieden. Wie nun der eine von den Leuten, die mir zur Hand gingen, mit der Spitze eines Scalpellmessers die inneren



Fig. 337.

Schenkelnerven des Frosches zufällig ganz leicht berührte, schienen sich alle Muskeln an den Gelenken wiederholt derart zusammenzuziehen, als wären sie anscheinend von heftigen tonischen Krämpfen befallen. Der andere aber, der uns bei Elektrizitätsversuchen behilflich war, glaubte bemerkt zu haben, dass sich das ereignet hätte, während dem Konduktor der Maschine ein Funken entlockt wurde [Fig. 1 *B*]. Verwundert über diese neue Erscheinung machte er mich, der ich etwas gänzlich anderes vorhatte

1) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 52. Leipzig 1894. S. 4. Vgl. auch Galvani, De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii. T. VII. S. 364.

und in Gedanken versunken war, darauf aufmerksam. Darauf wurde ich von einem unglaublichen Eifer und Begehren entflammt, dasselbe zu erproben und das, was darunter verborgen wäre, ans Licht zu ziehen. Ich berührte daher selbst mit der Messerspitze den einen oder den anderen Schenkelnerv, und in dem Momente entlockte der eine von den Anwesenden einen Funken. Die Erscheinung blieb stets dieselbe. Unfehlbar traten heftige Kontraktionen in den einzelnen Muskeln der Gelenke in demselben Momente ein, in dem der Funken übersprang, wie wenn das präparierte Tier von Tetanus befallen wäre«.

Obwohl die Erscheinung eine einfache Influenzwirkung war, so war Galvani so in der Voraussetzung tierischer Elektrizität befangen, dass er keinen Augenblick zweifelte, ihr hier begegnet zu sein. Da er indessen bemerkt hatte, dass die Zuckungen nur eintraten, wenn ein Finger der Hand, die den Scalpell hielt, einen der durch den Stiel gehenden eisernen Nägel berührte, so untersuchte er zunächst den Einfluss des Messers. Vertauschte er es mit einem Glasstabe, so blieben sie aus, traten aber wieder auf, wenn er einen eisernen Draht nahm. Daraus schloss er, dass die Berührung eines leitenden Körpers mit den Nerven für das Eintreten der Zuckungen erforderlich sei und fand diese Ansicht auch bei Verwendung eines über 100 Ellen langen Eisendrahtes, des Nervenkonduktors, wie er ihn nannte, bestätigt. Die Berührung des Muskels mit dem Drahte erregte dagegen keine Zuckungen. Es erwies sich bei diesen Versuchen als gleichgültig, ob er den Draht bis auf seine frei bleibenden Enden mit Wachs, Siegellack, Pech oder einer anderen nicht leitenden Substanz überzog, und aus dieser Beobachtung glaubte er schließen zu müssen, dass die Elektrizität sich nicht an der Oberfläche der Leiter, sondern durch deren Inneres bewege.

Da es nun aber möglich zu sein schien, dass die Luftelektrizität diese Zuckungen hervorrufen könne, so suchte Galvani durch Versuche, deren Anordnung Fig. 338, S. 356, zeigt, darüber ins klare zu kommen. Er verband die Füße der präparierten Schenkel mit dem Seile eines Brunnens, das Rückenmark mit einem durch die Luft gezogenen Eisendraht und sah jene in heftige Zuckungen geraten, so oft Gewitterwolken vorüberzogen und sich in Blitzen entluden. Daraus schloss er, dass die Gewitterelektrizität sich wie die künstliche verhielt, es blieb aber nun übrig, auch den Einfluss der bei heiterem Himmel vorhandenen atmosphärischen Elektrizität zu untersuchen. Wie er das ins Werk setzte, erzählt Galvani folgendermaßen[1]):

»Deshalb, als ich zuweilen bemerkt hatte, wie die präparierten Frösche, welche an dem Eisengitter, welches einen an unser Haus grenzenden Garten umgab, auch mit Messinghaken im Rückenmark versehen aufgehängt waren,

1) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 52. Leipzig 1894. S. 22. Galvani, De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii. T VII. S. 377.

in die gewöhnlichen Zuckungen verfielen, nicht nur beim Blitzen, sondern auch bei ruhigem und heiterem Himmel, meinte ich, die Entstehung dieser Kontraktionen sei von den Veränderungen, welche unterdessen in der atmosphärischen Elektrizität vor sich gehen, herzuleiten. Daher habe ich nicht ohne Hoffnung begonnen, die Wirkungen dieser Veränderungen in diesen Muskelbewegungen sorgfältig zu erforschen und auf die eine und die andere Art darüber Experimente anzustellen. Deshalb beobachtete ich zu verschiedenen Stunden und zwar viele Tage lang dazu passend hergerichtete Tiere, aber kaum jemals trat eine Bewegung in den Muskeln ein.

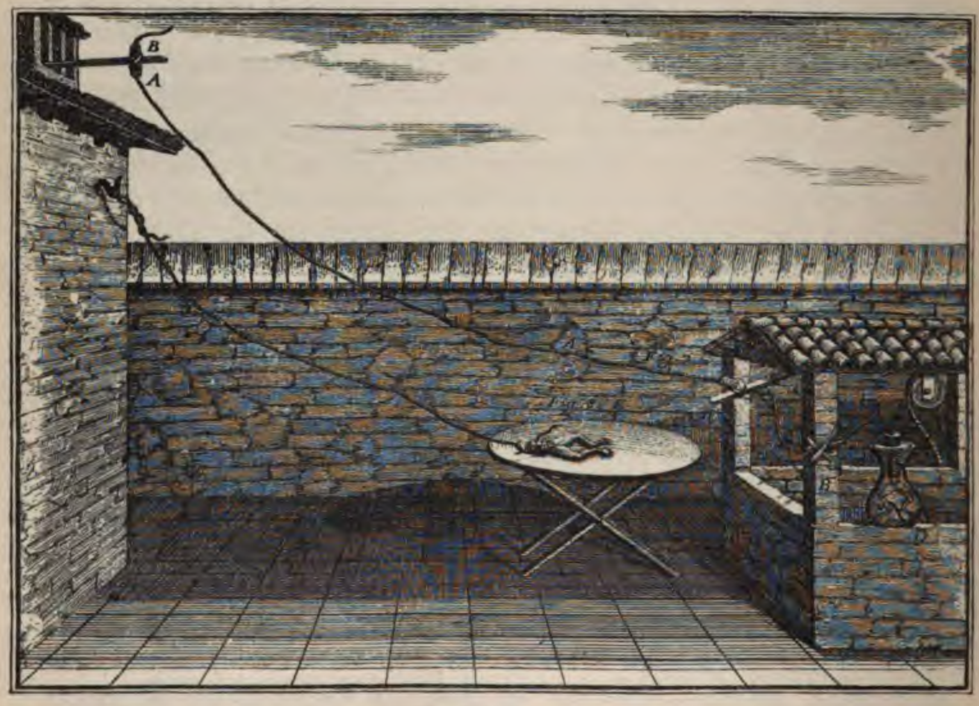


Fig. 338.

Schließlich durch das vergebliche Warten ermüdet, habe ich angefangen, die ehernen Haken, welche in das Rückenmark geheftet waren, gegen das eiserne Gitter zu quetschen und zu drücken, um zu sehen, ob durch einen solchen Kunstgriff die Kontraktionen der Muskeln erregt würden und ob anstatt einer Veränderung im Zustande der Atmosphäre und Elektrizität irgendwie sonst eine Veränderung und Wandlung von Einfluss wäre. Ich beobachtete zwar ziemlich häufig Kontraktionen, aber keine, welche von dem verschiedenen Zustande der Atmosphäre abhing.«

»Als ich diese Kontraktionen nun in der freien Luft beobachtet hatte, denn an anderen Orten waren [illegible] he angestellt worden, so

fehlte nicht viel und ich hätte der atmosphärischen Elektrizität, welche in das Tier kriecht und sich daselbst anhäuft und bei der Berührung des Hakens mit dem Eisengitter plötzlich entweicht, solche Kontraktionen zugesprochen. Denn es ist leicht, sich beim Experimentieren zu täuschen und zu meinen, das gesehen und gefunden zu haben, was wir zu sehen und zu finden wünschen.«

»Als ich aber das Tier in das geschlossene Zimmer übergeführt, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen letztere den in das Rückenmark gehefteten Haken zu drücken, siehe da, dieselben Kontraktionen, dieselben Bewegungen! Dasselbe habe ich wiederholt unter Anwendung von anderen Metallen, an anderen Orten und zu anderen Stunden und anderen Tagen erprobt, und dasselbe Ergebnis erhalten, nur dass die Kontraktionen bei der Verschiedenheit der Metalle verschieden waren, bei dem einen nämlich heftiger, bei dem anderen langsamer. Schließlich kam uns in den Sinn, auch andere Körper, welche aber wenig oder gar keine Elektrizität leiteten, nämlich aus Glas, Gummi, Harz, Stein oder Holz bestehende, und zwar trocken, zu dem Experimente zu verwenden; nichts ähnliches trat ein, es ließen sich keine Muskelkontraktionen und Bewegungen erblicken. Natürlich erregte ein derartiges Resultat bei uns nicht geringe Verwunderung und ließ die Vermutung in uns aufsteigen, dass dem Tiere selbst Elektrizität inwohne. Wir wurden in beiderlei Hinsicht bestärkt durch Annahme eines sehr feinen Nervenfluidums, das während der Erscheinung von den Nerven zu den Muskeln fließe, ähnlich dem elektrischen Strome in der Leidener Flasche«.

Die Richtigkeit dieser Hypothese versäumte Galvani nicht durch viele weitere Versuche zu prüfen. Er ersetzte die Eisenplatte durch eine Glas- oder Harztafel und berührte mit den Enden eines Eisendrahtes oder eines zum Teil nicht leitenden Bogens den in das Rückenmark gesteckten Haken und einen Muskel am Fuße des Froschpräparates. Bei Anwendung des leitenden Bogens traten Kontraktionen ein, wenn Haken und Draht aus verschiedenen Metallen bestanden. Bestanden sie aber beide z. B. aus Eisen, so blieben die Kontraktionen meist aus oder waren nur ganz geringfügig. Ebensowenig konnten sie durch den zum Teil nicht leitenden Bogen erhalten werden. Bestanden beide Bogen aber aus verschiedenen Metallen, war z. B. der Haken eisern, der Bogen aus Messing, so traten jedesmal Zuckungen auf; am stärksten wurden sie bei einem zum Teil aus Silber gebildeten Bogen. Daraus schloss Galvani, dass das Silber vor allen anderen Metallen zum Leiten der tierischen Elektrizität am geeignetsten sei.

Galvanis Erklärung seiner Versuche fand fast ungeteilte Zustimmung. Ihr schloss sich der jugendliche Alexander von Humboldt[1] (1769—1859) in seinem Werk über »Galvanismus« an. Doch fehlte es auch, wenigstens nicht ganz, an Widerspruch. So sahen die beiden Haller Professoren,

1) A. v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- u. Nervenfaser, oder Galvanismus. 2 Bde. Berlin 1797/99.

Gren (1760—1798) und Reil[1]) (1758—1813) die Ursache der Zuckungen der Froschschenkel nicht in der tierischen Elektrizität, sondern in den im Bogen verwendeten Metallen. Ein Versuch, den unabhängig voneinander Sulzer (1720—1790) und Volta (1745—1827) anstellten, sollte den Beweis liefern, dass die Haller Professoren und nicht Galvani bei der Erklärung seiner Versuche auf dem richtigen Wege gewesen waren.

2. Volta und die Erklärung der Versuche Galvanis.

Sulzer beschreibt den von ihm angestellten Versuch folgendermaßen[2]): »Wenn man zwei Stücke Metall, ein bleiernes und ein silbernes, so miteinander vereinigt, dass ihre Ränder eine Fläche ausmachen und man bringt sie an die Zunge, so wird man einen gewissen Geschmack daran bemerken, der dem Geschmacke des Eisenvitriols ziemlich nahekommt, da doch jedes Stück besonders nicht die Spur von diesem Geschmacke hat. Nun ist es nicht wahrscheinlich, dass bei dieser Vereinigung der beiden Metalle von dem einen oder dem anderen eine Auflösung vor sich gehe und die aufgelösten Teilchen in die Zunge eindringen. Man muss also schließen, dass die Vereinigung dieser Metalle in einem von ihnen oder in allen beiden eine zitternde Bewegung der Teilchen verursache und dass diese zitternde Bewegung, welche notwendig die Nerven der Zunge rege machen muss, den oben erwähnten Geschmack hervorbringe«.

Den nämlichen Versuch stellte Volta an, um Galvanis Anschauungen zu prüfen, ohne jedoch die Arbeit Sulzers zu kennen. Er beobachtete wie Sulzer eine Geschmacksempfindung, wenn er die Zunge zwischen die mit dem einen Rande sich berührenden Plättchen brachte. Sie konnte alkalisch oder sauer sein, je nachdem das eine oder andere Metall sich oben befand. Nahm er statt der Plättchen den aus zwei Metallen bestehenden Drahtbogen und schaltete zwischen seine Enden das Auge oder das Ohr, so nahm er eine Licht- oder eine Schallempfindung wahr. Da die auftretende Reizung des Sinnesnerven nur durch eine äußere Ursache hervorgerufen werden konnte, so schloss er in viel sachgemäßerer Weise wie Sulzer, dass dies nur eine Wirkung des Bogens sein könne, dass die Annahme der tierischen Elektrizität also nicht zu machen sei. Er breitete seine Versuche über die verschiedensten Metalle und feuchten Zwischenschichten aus und fand, dass jene nicht nur die Leiter, sondern auch die eigentlichen Erreger der Elektrizität seien. Die Metalle nannte er die Leiter oder Erreger erster Klasse und stellte sie in einer Tabelle zusammen, diese die Leiter zweiter Kla[illegible] diese

1) Grens Journal der Physik. [illegible]
2) Sulzer, Mémoires de l'Aca[illegible]
Taschenkalender für 1794. S. 18[illegible]
3) Brugnatelli, Giornale [illegible]

Zusammenstellung, »zwei solche Elektrizitätserreger oder Leiter der ersten Klasse von verschiedener Art, der eine von dieser, der andere von jener Seite, zugleich nasse zusammenhängende Leiter der zweiten Klasse berühren und endlich einer den anderen entweder unmittelbar oder mittelbar oder mittels eines dritten berühren und auf diese Art einen Kreis von Leitern bilden, so wird die elektrische Flüssigkeit in Bewegung gesetzt und bewegt sich in einem Kreise, und zwar in der Richtung, dass sie von den in der Tabelle höher stehenden Leitern der ersten Klasse auf die niedriger stehenden übergeht, indem sie den dazwischen befindlichen nassen Leiter durchdringt. Auf diese Art verfolgt sie ihren Kreislauf, so lange, als dieser nicht an irgend einer Stelle unterbrochen wird. Dieser Lauf ist um so stärker, je mehr die Leiter der ersten Klasse voneinander verschieden und in der Tabelle von einander entfernt sind. Alles dieses habe ich mit so vielen entscheidenden Versuchen dargethan, dass dieserhalb gar kein Zweifel mehr obwaltet«.

Die Tabelle, auf die er sich bezieht, ist die Spannungsreihe, deren er mehrere aufgestellt hat. Schon dieser Umstand, sodann aber auch der weitere, dass etwa um dieselbe Zeit Pfaff[1] (1773—1852) auch eine solche aufstellte, die ebensowenig mit den Voltaschen übereinstimmt, wie es diese unter sich thun, beweist, wie wenig man damals noch über die Bedingungen klar war, unter denen man zuverlässige Werte erhalten kann. Doch aber ließen Volta seine Versuche erkennen, dass eine dauernde elektrische Wirkung nur bei zwei Metallen mit feuchter Zwischenschicht auftritt. »Um also«, sagt er[2], »bei Fröschen Kontraktionen, auf der Zunge Geschmack, in den Augen Empfindung des Lichtes u. s. w. zu erregen, ist es schlechterdings notwendig, dass sich zwei verschiedene Metalle oder Leiter der ersten Klasse auf einer Seite untereinander berühren oder einen heterogenen zusammengesetzten Metallbogen bilden, während sie mit ihren gegenüberstehenden Enden den oder die Leiter zweiter Klasse berühren und zwischen sich fassen, die den anderen Bogen bilden«. Aber man erhält auch elektrische Wirkungen, wenn statt zweier Metalle und eines feuchten Leiters ein Metall und zwei feuchte Leiter benutzt werden, wenn die letzteren nur, wie Seifen- und Salzlösung, der Art nach voneinander verschieden sind. Um in diesem Falle eine möglichst starke Wirkung zu erzielen, ist es auch durchaus nicht gleichgültig, welche Flüssigkeitspaare man wählt.

Sollte nun aber die tierische Elektrizität aus der Wissenschaft als völlig beseitigt gelten, so musste eine andere Quelle aufgefunden werden, aus der die thatsächlich beobachtete Wirkung stammte, und auch der Nachweis stand noch aus, dass diese Wirkungen mit denen übereinkamen, die bisher r mit der Elektrisiermaschine zu erhalten waren. Um die zur Erledigung

---

ens Journal der Physik. 1794. Bd. 8. S. 196. Vgl. auch Ostwald, Elektro- ipzig 1896. S. 54.

a. 1796. Bd. 3. S. 479.

dieser Fragen nötigen Versuche anzustellen, bediente sich Volta anfangs des Kondensators und des Dopplers von Nicholson. Später aber vereinfachte er die Versuche dahin, dass er Platten von verschiedenen Metallen in Berührung brachte und nacheinander dem Knopf eines Bennetschen Elektroskopes näherte. Aus der Divergenz der Goldblättchen des Elektroskopes konnte dann ein Schluss auf die Größe der entwickelten Elektrizität gezogen, es konnte auch ihr Vorzeichen erhalten werden, »je nach der Natur des Metalles, welches man untersuchte, und des anderen, mit dem dies vorher in Berührung gestanden hatte«.

Ließen nun auch die als Voltasche Fundamentalversuche bekannten Versuche unzweifelhaft erkennen, dass man es hier mit Wirkungen derselben Art, wie die von der Elektrisiermaschine hervorgerufenen zu thun hatte, setzten sie ihn in den Stand, das Gesetz der Spannungsreihe, das er 1801 veröffentlichte, zu finden, so ergaben sie über die Ursache dieser Wirkung nichts. Hier galt es also eine Annahme zu machen, und diese bildete sich Volta dahin aus, dass der Kontakt der den Bogen bildenden Körper die Ursache der Bewegung der elektrischen Flüssigkeit sei, dass aber die bei Berührung von Metallen entstehende die durch die Flüssigkeit erregte an Stärke weitaus überträfe. »Es erzeugt sich sonach«, sagt er[1]), »bei der wechselseitigen Berührung, z. B. des Silbers mit dem Zinn, eine Aktion, eine Kraft, vermöge welcher das erstere elektrisches Fluidum abgiebt, das zweite hingegen es aufnimmt, oder jenes dasselbe in dieses ergießt. Diese Aktion erzeugt, wenn übrigens der Kreis durch feuchte Leiter vollständig gemacht wird, einen Strom, eine kontinuierliche Cirkulation dieses Fluidums, welches der oben angezeigten Richtung gemäß, aus dem Silber nach dem Zinn und von da durch den feuchten Leiter wieder zurück nach dem Silber geht; um so, indem es von neuem nach dem Zinn strömt, das vorige Spiel zu wiederholen.«

Dass dieser Satz dem Prinzip der Erhaltung der Energie zuwiderläuft, konnte man ihm am Ende des vorigen Jahrhunderts noch nicht zum Vorwurf machen, wohl aber, dass er die elektrische Erregung bei Berührung von Metallen und Flüssigkeiten gänzlich vernachlässigen zu dürfen glaubte und dass er die in der galvanischen Kette stattfindenden chemischen Prozesse völlig unberücksichtigt ließ. Dem Übersetzer von Voltas Schriften, J. W. Ritter (1776—1810) schien dagegen die galvanische Wirkung und der chemische Prozess um so mehr miteinander in Zusammenhang gebracht werden zu müssen, als die »Metalle in ihrem Verhalten zum Galvanismus« eine Reihe bilden, welche mit der übereinstimmt, in der die Metalle einander aus ihren Salzen abscheiden. Diese Abscheidung der Metalle hielt deshalb Ritter für die Ursache der Elektrizität. So wurde Volta der Schöpfer der Kontakt-, Ritter der der chemischen Theorie der galvanischen

1) Ritter, Beiträge zur Kenntnis des Galvanismus. I. 3. Stück. 1800. S. 47. Vgl. Ostwald, Elektrochemie. S. 58.

Kette. Ritters Ansicht blieb jedoch zunächst unbeachtet, da die Physiker der damaligen Zeit, nicht zum letzten auf die Autorität Pfaffs und A. von Humboldts hin, sich Voltas Ansicht anschlossen.

3. Die Voltasche Säule.

Wenn nun auch zwei Metallplatten und eine Schicht Flüssigkeit deutliche elektrische Wirkungen gaben, so waren diese doch so gering, dass sie nur mittels der empfindlichsten Instrumente unter Anwendung besonderer Hilfsmittel zu beobachten waren. Volta suchte deshalb diese Wirkungen zu verstärken, indem er eine große Zahl solcher einfachen Elemente aufeinander legte, die nach ihm genannte Säule konstruierte; ihre älteste Form zeigt Fig. 339. In einem Briefe an Banks vom 20. März 1800 spricht sich Volta folgendermaßen darüber aus[1]):

»Dreißig, vierzig, sechzig oder mehr Stücke von Kupfer oder besser Silber, von denen jedes auf ein Stück Zinn oder besser Zink gelegt ist, und eine gleich große Anzahl von Schichten Wasser oder irgend einer anderen Flüssigkeit, welche besser leitet wie gewöhnliches Wasser, wie Salzwasser, Lauge u. s. w. oder Stücke von Pappe, Leder u. s. w., die mit diesen Flüssigkeiten gut durchtränkt sind, diese Stücke zwischen jedes Paar oder jede Verbindung von zwei verschiedenen Metallen geschaltet: eine derartige Wechselfolge in stets gleicher Ordnung der drei Arten von Leitern, das ist alles, woraus mein neues Instrument besteht, welches, wie gesagt, die Wirkungen der Leidener Flaschen oder der elektrischen Batterien nachahmt, indem es dieselben Erschütterungen giebt, wie diese, wobei es allerdings weit unterhalb der Wirksamkeit stark geladener Batterien bleibt, was die Kraft und das Geräusch der Explosionen, den Funken, die Schlagweite u. s. w. anlangt; es gleicht nur bezüglich der Wirkung einer sehr schwach geladenen Batterie, die aber eine außerordentliche Kapazität besitzt, übertrifft aber die Kraft und das Vermögen dieser Batterien unendlich darin, dass es nicht wie diese vorher durch fremde Elektrizität geladen zu werden braucht, und dass es den Schlag zu geben fähig ist jedesmal, wenn man es passend berührt, wie oft auch diese Berührung erfolgen mag.« Da sich die Säule somit ähnlich verhielt, wie die wirksamen Apparate der elektrischen Fische, so nennt sie Volta auch ein »künstliches elektrisches Organ«.



Fig. 339.

1) Philosophical Transactions. 1800. II. 405ff. s. Ostwald, Elektrochemie. S. 118.

Um die aufeinander getürmten Platten vor dem Umfallen zu schützen, baute sie Volta zwischen vier Glasstäben *m* (Fig. 339, S. 361) auf. Wurde die Anzahl der Platten so groß, dass dies nicht mehr ging, so teilte er sie, wie die Figg. 340 und 341 zeigen, in zwei oder vier Abteilungen und verband die oberen oder die oberen und die unteren Platten mit Metallstreifen *cc*. Die Gefäße *bb* waren wie bei Fig. 339 auch mit angesäuertem oder Salz enthaltenden Wasser gefüllt und mit den untersten Platten in leitender Verbindung. Um den von der Säule erteilten Schlag recht fühlbar zu machen, hatte man nur einige Finger der einen Hand in das eine Gefäß zu tauchen und mit einem der anderen die oberste Platte oder die Oberfläche der Flüssigkeit im zweiten zu berühren. In der Weise der Fig. 341 war die Riesensäule Ritters[1]), welche aus 2000 Plattenpaaren bestand, eingerichtet. Dem Übelstande, dass das Gewicht der Säule aus den unteren Platten die Flüssigkeit auspresste, half Pohl[2]) (1788—1849)

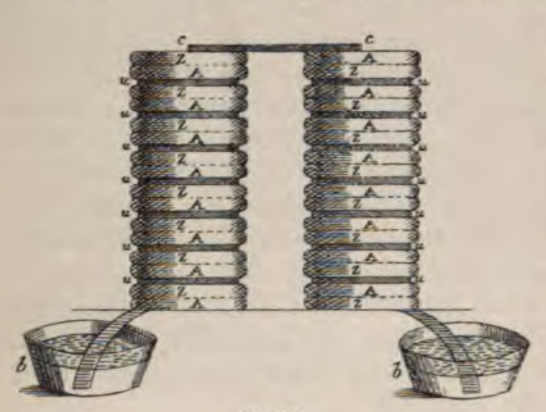


Fig. 340.

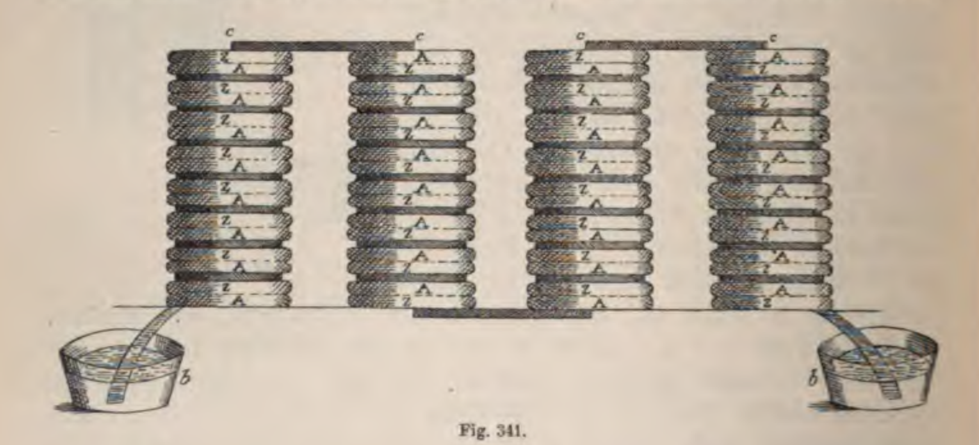


Fig. 341.

ab, indem er Platten einlegte, die mit Schrauben an die Glasstützen befestigt werden konnten, so dass die Säule aus einer Reihe kleinerer zusammengesetzt erschien. Für schwächere Ströme wendete man wohl auch

1) Ritter, Physikalisch-chemische Abhandlungen. Leipzig 1806. III. S. 370. Vgl. Gehler, physik. Wörterbuch. VIII. Leipzig 1836. S. 3.

2) *Pohl*, Der Elektromagnetismus. Berlin 1830. S. 78.

Säulen an, welche aus silbernen Thalern, und Zinkplättchen, die mit den Tuchlappen in einen Glascylinder gelegt wurden, bestanden. Sie hatten den Vorteil, auch wie die von Haldane[1]) angegebene Säule in horizontaler Lage verwendet werden zu können. Die Zusammensetzung kräftiger Säulen mit ihren vielen Plattenpaaren war so überaus unbequem, dass bereits Volta eine andere Form angab, die bald so zweckmäßig weiter gebildet wurde, dass Pohls Verbesserung viel zu spät kam, als dass sie noch Nutzen hätte stiften können. Diese andere Form ist die Tassensäule oder Tassenkrone, die Corona di Tazze (Fig. 342). Als Metalle



Fig. 342.

nahm Volta Kupfer, Messing oder versilbertes Kupfer und Zinn in Lauge oder Zink in Salzwasser. Die Metallplatten wurden in becherförmige Gefäße gesetzt und je zwei durch angelötete metallische Bögen verbunden. Die größeren Gefäße an beiden Enden bezweckten wieder das bequemere Eintauchen der Hände. Diese Säule war zwar viel leichter zusammenzusetzen, wie die frühere Form, aber beim Auseinandernehmen mussten die Platten erst entfernt, musste dann jedes einzelne Gefäß ausgegossen werden. Um dies zu vermeiden, stellte 1800 Cruikshank[2]) (1745—1800) zusammengelötete Silber- und Zinkplatten in die Falze eines großen mit Harz gefirnissten Holztroges und verkittete sie an den Wänden sorgfältig, so dass sie als Wände der einzelnen Zellen dienten, in die er dann Salmiaklösung goss. Das Füllen war dabei der mühsamste Teil der Zusammensetzung. Ausgießen konnte man die Zellen zusammen. Aber auch jenes suchte man durch Herstellung von breiten Trichtern mit einer Anzahl Ausflussöffnungen zu erleichtern, welche in die einzelnen Zellen passten.

Alle diese Verbesserungen standen jedoch hinter der zurück, welche 1804 Wilkinson[3]) anbrachte, weil diese nur ein einmaliges Füllen der Tröge oder der Zellen des Troges erforderten, in die alsdann die Platten auf einmal eingetaucht wurden. Zu diesem Zweck waren an den Verbindungsstellen zwischen den Kupfer- und Zinkplatten Ringe befestigt, durch welche, wenn sie aus der Flüssigkeit gehoben werden sollten, ein Stab gesteckt wurde. Es lag dann nahe, die Ringe mit Schrauben an den Stab anzuklemmen und diesen mit der Platte in Verbindung zu

1) Haldane, Gilberts Annalen. 1801. Bd. 7. S. 202.
2) Gilberts Annalen. 1801. Bd. 7. S. 99 und 190.
3) Ebenda. 1807. Bd. 26. S. 361.

lassen. So erhielt man die Tauchbatterie, wie sie auch heute noch in Anwendung steht.

Man hat auch später noch die Trogbatterien zu vervollkommnen gesucht. So zeigt Fig. 343 einen Cruikshankschen Apparat in einem großen Kasten, welcher erlaubt, den Trog durch Drehen um eine horizontale Achse in ein davor angebrachtes Gefäß zu entleeren und durch Rückwärtsdrehen wieder zu füllen. Der Sturgeon zugeschriebene Apparat stammt freilich erst aus der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts[1]. Einen anderen Weg der Vervollkommnung der Voltaschen Säule schlug Children (1778—1852) 1813 auf Wollastons (1766—1826) Rat ein, indem er die Kupferplatte so bog, dass sie von zwei Seiten die Zinkplatte umfasste, deren gesamte Oberfläche auf diese Weise zur Stromerzeugung benutzt wurde. Wollaston setzte nach diesem Plane später selbst eine solche Säule zusammen[2]. In bequemerer Weise aber verwirklichte Oersted[3] (1777—1851) 1818 den nämlichen Gedanken, indem er das Kupfer als Doppelcylinder herstellte, in dessen ringförmigen Innenraum er die Flüssigkeit und einen auf Holzfüßchen ruhenden Zinkcylinder brachte.

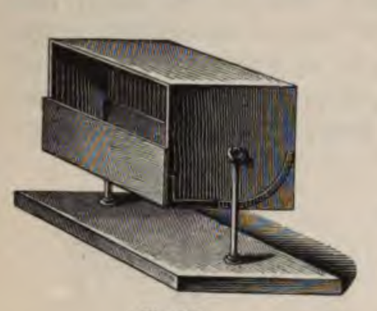


Fig. 343.

4. Nicholson, Carlisle und Ritter. Die Wasserzersetzung und das Voltameter.

Schon im Jahre 1789 hatten Paetz van Troostwyck (1752—1837) und Deimann[4] (1753—1808) mittels der Entladung einer Leidener Flasche das Wasser in seine Bestandteile zerlegt und indem es ihnen gelang, die erhaltenen Gase wieder zu Wasser zu vereinigen, diese Wirkung der Elektrizität über jeden Zweifel erhoben. Auf die Möglichkeit der Zersetzung des Wassers mit Hilfe des galvanischen Stromes hat dagegen wohl zuerst Alexander von Humboldt bei Wiederholung der Versuche Ashs (gest. 1820), hingewiesen, der gefunden hatte, dass sich, wenn man ein Voltasches Element mit Zink und Silber zusammenstellt, das Zink oxydiert. »Das Silber«, sagt Humboldt[5], »hat unter jeder Temperatur einige

1) Gerland in Hofmanns Bericht u. s. w. S. 95.
2) Gilberts Annalen. 1816. Bd. 52. S. 355. Bd. 54. S. 9.
3) Oersted, Schweiggers Journal. 1818. Bd. 20. S. 205.
4) F. K. Fischer, Geschichte der Physik. Jena 1801—1808. Bd. 8. S. 541.
5) Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. Berlin 1797. Bd. 1. S. 471.

Ziehkraft zum Sauerstoff. Liegt nun eine dünne Wasserschicht zwischen dem Zink- und Silberplättchen, so sind die Ziehkräfte beider Metalle thätig, dieselbe zu zerlegen.« Wenn es nun auch unklar bleibt, wie man sich die Wirksamkeit dieser Ziehkraft vorzustellen hat, da sie doch wohl ebenso vom Zink, wie vom Silber auf den Sauerstoff ausgeübt werden muss[1]), so ist hier doch zuerst mit Bestimmtheit das Eintreten der Wasserzersetzung aus der Oxydation des Zinks gefolgert, denn die Bemerkungen Priestleys[2]) (1733—1804) über die Vorgänge in der Säule, die ihn auf die Hypothese zweier Elektrizitäten, der positiven, die Oxygen und der negativen, die Phlogiston enthalte, und die mit Wasser verbunden die beiden entgegengesetzten Arten von Luft, nämlich Lebensluft und brennbare Luft, bilden, führen nicht zur Forderung der Zersetzung des Wassers durch den Strom.

Die ersten, die wirklich die Zersetzung des Wassers beobachteten, waren Nicholson und Carlisle[3]) (1768—1840). Über ihre Entdeckung berichtet Nicholson folgendermaßen: »Bald nach dem Anfang dieser Versuche (mit der Säule) bemerkte Carlisle, dass, als ein Tropfen Wasser auf die obere Platte gebracht worden war, um die Berührung sicherer zu machen, an dem berührenden Draht Gas entbunden wurde, welches, so wenig dessen auch war, mir doch wie Wasserstoff zu riechen schien, wenn der verbindende Draht von Stahl war. Dies und andere Thatsachen bewogen uns am 2. Mai, den galvanischen oder elektrischen Strom durch zwei Messingdrähte zu führen, welche in einer mit Korkstöpseln verschlossenen $\frac{1}{2}$ Zoll weiten Röhre voll frischen Flusswassers, $1\frac{3}{4}$ Zoll von einander endigten. Der eine Draht dieses Ausladers wurde mit der oberen, der andere mit der unteren Platte einer aus 26 Kronenstücken und ebensoviel Zink- und Pappscheiben zusammengesetzten Säule in Berührung gebracht. Sogleich erhob sich in der Röhre aus der Spitze des unteren mit dem Silber verbundenen Drahtes ein feiner Strom kleiner Luftblasen und die darüber stehende Spitze des anderen Drahtes begann anzulaufen.... Das ganze während dritthalb Stunden entbundene Gas betrug $\frac{2}{3}$ eines Kubikzolles Gewicht; mit einer gleichen Menge atmosphärischer Luft explodierte es bei der Annäherung eines Wachsstockes.

Gleich beim ersten Erscheinen des Wasserstoffgases hatten wir eine Zersetzung des Wassers in diesem Versuche erwartet; dass sich aber der Wasserstoff nur an dem Ende des einen Drahtes entwickelt, während sich der Sauerstoff mit dem anderen verband, der beinahe 2 Zoll von jenem abstand, überraschte uns nicht wenig. Diese neue Erscheinung ist uns noch unerklärbar und scheint auf irgend ein allgemeines Gesetz der Wirkungsweise der Elektrizität bei chemischen Vorgängen hinzuweisen.

1) Ostwald, Elektrochemie. Leipzig 1896. S. 114.

2) Nicholsons Journal of natural Philosophy. Bd. 1. S. 198. Vgl. Fischers phys. Wörterbuch. Göttingen 1805. Bd. 6. S. 492.

3) Gilberts Annalen. 1800. Bd. 6. S. 340. Vgl. Ostwald, Elektrochemie. S. 130.

... Den 6. Mai wiederholte Carlisle den Versuch mit kupfernen Drähten und Lackmustinktur. Der mit der Zinkplatte verbundene, sich oxydierende untere Draht färbte in ungefähr 10 Minuten die Lackmustinktur, so weit er reichte, rot, indessen das übrige blau blieb.« ...

Fast gleichzeitig mit den englischen Forschern hatte seiner Mitteilung nach Ritter[1]) die Wasserzerlegung durch den galvanischen Strom bemerkt und nicht unterlassen, mit Apparaten verschiedener Form die Erscheinung genauer zu untersuchen. Er benutzte zuerst den in Fig. 344 dargestellten Apparat, eine mit zwei Korkstopfen verschlossene Röhre, die mit Wasser gefüllt wurde und in die er den Strom mit Hilfe zweier Golddrähte a und b einführte, welche durch die Stopfen gingen. Die Form des Versuches war unzweckmäßig, da die horizontale Lage der Röhre das Auffangen der Gase erschwerte, auch nicht erlaubte, die an den beiden Drähten auftretenden gesondert aufzufangen. Ritter ersetzte das eine Rohr deshalb durch zwei Rohre, in die oben die den Strom zuführenden Drähte geführt waren, wie Fig. 345 zeigt, während die beiden unten

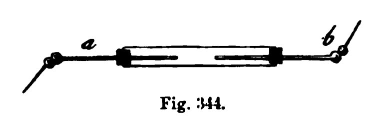


Fig. 344.

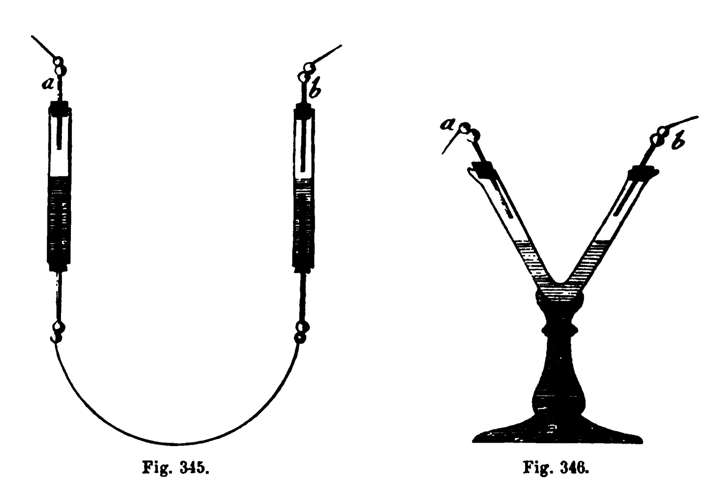


Fig. 345. Fig. 346.

hineingehenden Drähte durch einen dritten längeren Draht die in ihnen enthaltenen Flüssigkeitsmengen in Verbindung setzten. Aber auch diese Form behielt er nicht bei, sie musste der noch zweckmäßigeren, welche Fig. 346 wiedergiebt, weichen, ein U-förmiges Rohr, dessen beide Enden die die Zuleitungsdrähte führenden Stopfen verschlossen. Die Röhren der Apparate (Fig. 345 und 346) füllte er bis zur Hälfte mit konzentrierter Schwefelsäure, auf die er dann vorsichtig destilliertes Wasser schichtete. »Im Augenblicke des Schließens der Batterie«, beschreibt er diesen Versuch, »fing der Oxygendraht a sowohl, wie der Hydrogendraht b an Gas

1) Voigts Magazin f. d. neuesten Zustand der Naturk. II. 1800. S. 356.

zu geben und diese Entwickelung dauerte fort, so lange man die Kette geschlossen hielt«. Aber auch dieser Apparat befriedigte Ritter nicht, er ersetzte ihn durch Fig. 347 und so ist Ritter der Urheber der gebräuchlichsten Formen der Wasserzersetzungsapparate geworden[1]).

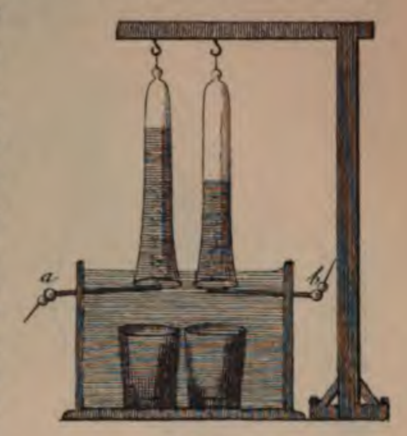


Fig. 347.

Obgleich er nun bei allen seinen Versuchen an dem einen Pol Sauerstoff, an dem anderen Wasserstoff erhielt, so konnte er sich doch nicht überzeugen, dass aus diesen Bestandteilen das Wasser bestehe, sie demnach durch Zersetzung des Wassers erhalten werden könnten. Diese Ansicht brachte ihn freilich in Gegensatz wohl zu allen seinen Zeitgenossen, die über das in Rede stehende Problem ein Urteil haben konnten; sie glaubten vielmehr gerade in der Menge der entwickelten Gase oder wenn nur Wasserstoff auftrat, in dessen Menge ein Maß der größeren oder geringeren Wirksamkeit der die Säule zusammensetzenden Metalle und des Einflusses der Leitungsdrähte sehen zu dürfen. So vor allen Landriani[2]), dessen Apparat Fig. 348 zeigt. Der letztgenannte Forscher war es auch, welcher Volta in einem am 17. August 1800 geschriebenen Brief mit der Thatsache der Zersetzung des Wassers bekannt machte, von diesem freilich am 22. September desselben Jahres die Antwort erhielt, dass ihm die betreffenden Versuche nicht neu gewesen seien, dass sie ihn aber von Anfang an nicht überrascht hätten. Denn er hätte bereits bei seinen Versuchen mit der Tassensäule bemerkt, dass der elektrische Strom »die Kalcination der verschiedenen metallischen Platten an den Teilen veranlasste und beförderte, die sich im Wasser, ob dieses rein oder mit Salz versetzt war, befanden, und zwar am meisten die der Zinkplatten«.

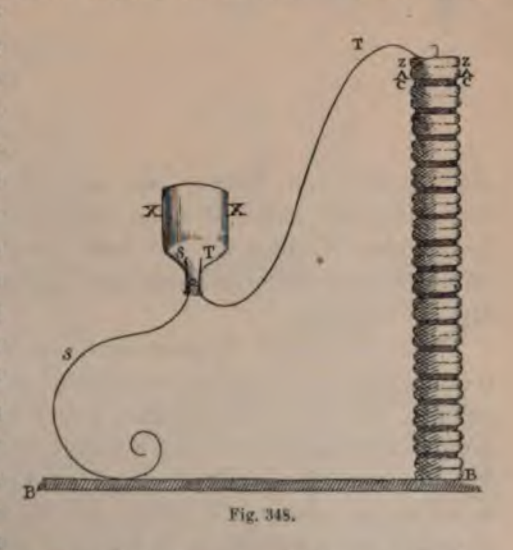


Fig. 348.

Doch legte Volta diesen chemischen Vorgängen nur geringe Bedeutung bei und so war er es nicht, der das Voltameter zuerst angab, sondern der

1) Voigts Magazin f. d. neuesten Zustände der Naturk. II. 1800. Taf. V. Fig. 3.
2) Vgl. Ostwald, Elektrochemie. S. 132.

Professor an der Berliner Bauakademie Simon[1]) (1767—1815). Es ist in Fig. 349 wiedergegeben. Simon füllte die mit eingeschmolzenen Platindrähten versehene Röhre AB mit frisch ausgekochtem, destillierten Wasser und verband das zweimal gebogene Rohr C luftdicht mit dem AB gleichgeformten Rohre DE, welches bis F mit Quecksilber, bis E mit frisch geschmolzenem und zerkleinertem Chlorkalcium gefüllt war. An E war das Rohr EHG gekittet, welches in das mit Quecksilber gefüllte Gefäß GH führte, aus dem das Gas durch das Ableitungsrohr I entwich. Es wurde in einem mit ausgekochten Wasser gefüllten Gefäße aufgefangen, welches über eine mit Quecksilber gefüllte Schale gestülpt war. Zur Wasserzersetzung diente eine Voltasche Säule von fünfzig Plattenpaaren, die zehn Wochen und zwei Tage in Thätigkeit gehalten wurde. Nach Verlauf dieser Zeit betrug die entwickelte Gasmenge 27,54 Kubikzoll, deren Gewicht auf 4,61 Gran berechnet wurde. Da nun der Gewichtsverlust des Wassers in AB 4,60 Gran betrug, so war damit bewiesen, dass die erhaltenen Gase aus dem Wasser und nicht etwa aus galvanischer Materie stammten.

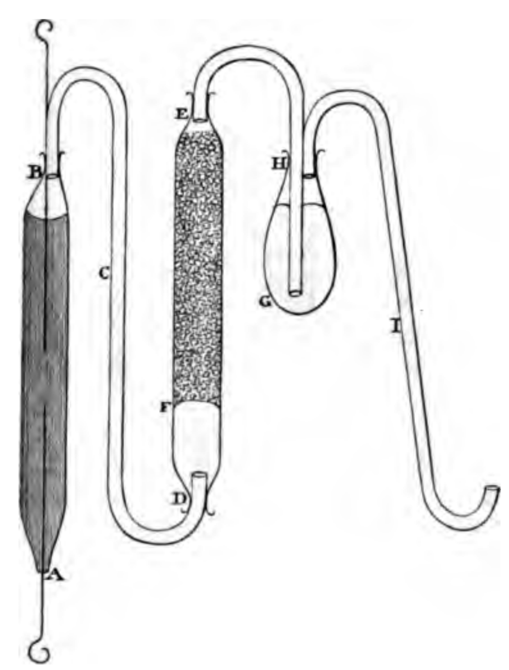


Fig. 349.

War nun dieser Apparat auch als Voltameter, als Galvanoskop, wie Simon ihn noch nannte, brauchbar, so war er dafür doch nicht bequem genug. Für derartige Zwecke gab deshalb Simon ihm die in Fig. 350 vorgeführte Einrichtung, deren Zweck er folgendermaßen schildert[2]): »Auch könnte man die beschriebenen Vorrichtungen zu einem Galvanoskop anwenden, um damit die Stärke der Wirkung verschiedener Säulen gegeneinander zu vergleichen, indem die Stärke ihrer Wirkung im geraden Verhältnis der Räume stehen möchte, welche die vermittelst ihrer in einerlei Zeit entwickelten Gasarten einnahmen«.

Wie man sieht, sollte das entwickelte Gas durch das mit dem Hahn G versehene Rohr D in die mit Quecksilber gefüllte Kugel E gelangen und

1) Simon. Gilberts Annalen. 1802. Bd. 10. S. 282.
2) Gilberts Annalen. 1801. Bd. 18. S. 28.

dieses in das Rohr F treiben. Aus seiner Höhe, die an einen neben F angebrachtem Maßstab abgelesen werden konnte, war es dann möglich, die in einer bestimmten Zeit entwickelte Gasmenge zu finden.

Über die Wasserzersetzung hatte auch Humphrey Davy[1]) (1778—1829) messende Versuche angestellt und das nämliche Resultat wie Simon erhalten. Während dieser aber seine Ergebnisse für die Messung der Stromstärke nutzbar machte, ging Davy zu der Untersuchung der Wirkung des Stromes auch auf andere zusammengesetzte Körper über und gelangte auf diesem Wege zu der Überzeugung, dass der in der Voltaschen Säule auftretende Strom lediglich eine Folge der in ihr stattfindenden chemischen Prozesse sei und umgekehrt, diese durch den Strom verursacht würden.

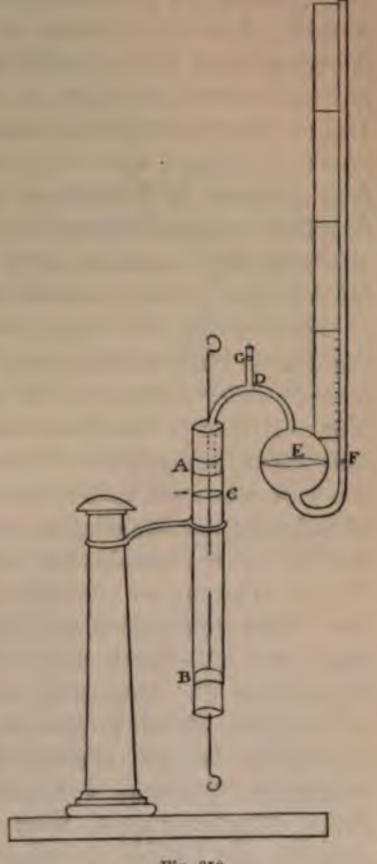


Fig. 350.

5. Gautherot und Ritter. Polarisation und Trockensäule.

Die Bestrebungen auch anderer Forscher über die Vorgänge in der Voltaschen Säule zur Klarheit zu kommen, führte am Anfange des 19. Jahrhunderts unabhängig von einander Gautherot und Ritter zur Beobachtung des Vorganges, den man später die Polarisation der Säule nannte. Gautherot[2]) (1753—1803) schildert seine diesbezüglichen Arbeiten mit folgenden Worten:

»Als ich meine Versuche nicht mit der Voltaschen Säule, sondern mit der Tassenkrone fortsetzte, bemerkte ich, dass der brennende Geschmack, welchen man erhält, wenn man zwei metallene Drähte in den Mund nimmt, deren andere Enden in die äußersten Tassen des Apparates tauchen, bemerkte ich, sage ich, dass, wenn die Drähte von Platin oder Silber waren, und ich sie nach dem Herausnehmen aus den Tassen miteinander in Berührung brachte, ich wieder einen leichten galvanischen Geschmack empfand, der sogar einige Dauer besaß, wenn man die beiden Drähte in Berührung

1) Davy, Nicholsons Journal. 18. 4. 326.

2) Sue, Histoire du Galvanisme. 1802. II. Bd. S. 209; nach Mémoires des sociétés savantes et littéraires de la République française. I. Bd. S. 471 u. ff.

ließ und der sogar sich wiederholt erneute, wenn man die Drähte mehreremals gegeneinander bewegte«.

»Dieser Geschmack ist noch deutlicher, wenn man die beiden Drähte in eine Flasche mit Salzwasser bringt, indem man sie mittels eines Korkes festhält, dass sie einander nicht berühren können; taucht man nun die beiden anderen Enden in die äußersten Enden der Tassenkrone, oder berührt mit ihnen die Enden einer gewöhnlichen Säule, wobei man vor allen Dingen den Augenblick abwartet, wo das Wasser sich in der Flasche zu zersetzen beginnt, und bringt man alsdann die beiden Drahtenden, die mit dem Apparate in Verbindung waren, in den Mund, so ist der Geschmack deutlicher ausgesprochen; in einzelnen Fällen kann man sogar eine leichte Erschütterung bemerken, auch hat die Wirkung eine längere Dauer. Auch bin ich dazu gelangt, mittels des neuen Apparates Wasser zu zersetzen«.

Ebensowenig wie Gautherot, der mit anderen Gelehrten seiner Zeit das Dasein eines unbekannten Agens vermutete, welches, mit dem elektrischen sich verbindend, die galvanischen Erscheinungen hervorrufe, gelang es Ritter[1]), eine Erklärung des nämlichen, von ihm im Sommer 1801 selbständig beobachteten Vorganges zu geben. Er hatte bemerkt, dass, wenn er mit zwei Golddrähten Wasser zersetzte und sie dann aus dem Stromkreise der Säule nahm, eine kurze Zeit noch der Draht, an dem sich der Sauerstoff abgeschieden hatte, Wasserstoff, der andere Sauerstoff gab. Um die Wirkung zu verstärken, ersetzte er das eine Element, welches aus den beiden Golddrähten und der zersetzten Flüssigkeit bestand, durch eine Säule und ließ durch diese den Strom hindurchgehen. »Man schichte«, so giebt er die Anweisung zu diesem Versuche, »fünfzig Kupferplatten, wovon jede etwas größer als ein Laubthaler und ebenso dick wie ein Kartenblatt ist mit ebensovielen kochsalznassen Pappen von ungefähr 2 Quadratzoll Fläche und einer Linie Dicke nach der Ordnung: Kupfer, Pappe, Kupfer, Pappe, Kupfer u. s. w., und beschließe die Reihe zuletzt ebenfalls mit Kupfer . . . Man verbinde jetzt das obere Ende dieser Säule *A* durch einen Eisendraht mit dem positiven oder dem Oxygenpol, das untere Ende derselben durch einen anderen Draht mit dem negativen oder Hydrogenpol einer gewöhnlichen Voltaschen Batterie von 90 bis 100 Lagen . . . und lasse beides 3 bis 5 Minuten in Verbindung. Darauf nehme man schnell einen oder beide Verbindungsdrähte ab und verbinde schließlich *A* (was früher gar nichts gab) von einem Ende zum anderen mit einem Eisendraht. Man wird nun einen schönen roten, sternförmigen Funken haben . . . Schließt man statt mit einem Eisendrahte mit einer Röhre voll Wasser, welche mit zwei Golddrähten versehen ist, welche nahe aneinander stehen, so wird man sogleich mit der Schließung an beiden Drähten Gasentbindung haben . . . Schließt man statt der Glasröhre mit beiden Händen, welche man vorher mit Kochsalz- oder Salmiakauflösung gehörig feucht

1) Voigts Magazin. 1803. Bd. 6. S. 105.

gemacht und mit Massen von Zinn und Eisen armiert hat, ... so wird man Schläge bekommen ... Bringt man statt der einen von beiden Händen ein Auge, ein Ohr, die Nase, die Zunge oder sonst einen Teil des Körpers in den schließenden Kreis, so hat man in jedem dieser Organe dieselben Empfindungen, die Voltas Batterie selbst zu geben pflegt«.

»Scheint die Säule durch Schließung erschöpft zu sein, so darf man sie meist nur eine kleine Zeit ruhen lassen und sie wirkt sogleich von neuem wieder in einem ihrem Alter und den übrigen Umständen angemessenen Grade«.

Diese Säule nannte Ritter Ladungssäule, und es fiel ihm auf, dass sie, wenn sie nach tagelangem Stehen fast ausgetrocknet war, doch noch elektrische Wirkungen geben konnte. Er versuchte nun, ob eine gewöhnliche Voltasche Säule sich ebenso unempfindlich gegen das Austrocknen verhielte. Zu seinem Erstaunen sah er eine Säule aus 600 Zink- und Kupferplatten und Zwischenlagen aus völlig trocknem weißen Schafleder dieselben Wirkungen ausüben, wie eine in gewöhnlicher Weise unter Einschaltung von Flüssigkeit konstruierte. Ersetzte er das Leder durch dünne Glasplatten, so zeigte sich das nämliche. Aber wenn er auch die Säule eine Trockensäule nannte, so entging es ihm keineswegs, dass diese Bezeichnung nicht im eigentlichen Sinne des Wortes zu nehmen war, dass vielmehr die Wirkung der Säule nur eintrat, wenn der nicht metallische Körper Feuchtigkeit auf seiner Oberfläche verdichtete [1]).

Das nämliche Ergebnis erhielt Behrens [2]) (1775—1813), als er die Trockensäule aus Plättchen unechten Gold- und Silberpapieres zusammensetzte, die mit der Papierseite aufeinander geklebt waren. Da die beiden entgegengesetzten Enden einer aus vielen solchen Plättchen bestehenden Säule stets entgegengesetzte, wenn auch schwache Ladungen zeigten, so benutzte er zur Konstruktion ein empfindliches Elektroskop. »Die Versuche über die Säule mit Goldpapier hatten mich überzeugt«, so beschreibt er es, »dass dieser Apparat ein wahres Perpetuum mobile sei. Dadurch kam ich auf folgendes Raisonnement: Wenn in der Mitte zwischen den zwei entgegengesetzten Polen zweier solcher gleich starken und nicht isolierten Säulen ein isoliertes Goldblättchen aufgehängt wäre, so würde dieses vermöge der gleichen Kräfte der beiden Säulen von seiner senkrechten Richtung nicht abweichen. Würde nun aber dem Goldblättchen ein elektrischer Körper genähert, so müsste es vom positiven Pole der einen oder vom negativen der anderen Säule angezogen werden, je nachdem der genäherte Körper negative oder positive Elektrizität hätte. Wie sich erwarten ließ, bewährten die Versuche diese Idee, welche dem im folgenden beschriebenen Instrumente zu Grunde liegt«.

---

1) Ritter, Physikalisch-chemische Abhandlungen. Bd. 2. S. 270. Vgl. Gehlers physikalisches Wörterbuch. VIII. S. 110.

2) Behrens, Gilberts Annalen. 1806. Bd. 23. S. 2.

»Fig. 351 stellt einen senkrechten Durchschnitt des Instrumentes vor, auf $\frac{1}{4}$ des Längenmaßes reduziert. Der von Holz gedrehte Fuß *abcde* hat zwischen *de* eine Höhlung, in welche das Glas *gfh* gesetzt und befestigt ist. Die obere Fassung dieses Glases ist in der Mitte ausgedreht und in die Öffnung die lackierte Glasröhre *ki* gekittet. Die Fassung dieser letzteren *il* ist in der Mitte durchbohrt und durch dieselbe geht gedrängt, aber verschiebbar, der Draht *os*, der vermittelst der Zunge *s* das Goldblättchen *rs* trägt. Das Glas ist an zwei entgegengesetzten Seiten durchbohrt und in den Öffnungen sind die beiden kleinen Röhren *m* und *n* befestigt. Diese sind von innen und von außen mit Siegellack überzogen, und durch dieselben gehen zwei im Glase nach oben, außerhalb desselben nach unten gebogene, $\frac{1}{2}$ Linie breite Bleche, *md* und *ne*, welche beide in den Röhren verschiebbar sind. Senkrecht unter jedem Öhr *d* und *e* der beiden erwähnten Bleche sind in den Vorsprung des Fußgestelles an jeder Seite drei dünne, mit Siegellack überzogene Glasröhren eingesetzt ... Zwischen diesen Röhren sind zwei elektrische Säulen aus Messingblech, Stanniol und Goldpapier aufgeschichtet. Jede Säule besteht aus einigen vierzig Schichtungen und jede ist in der entgegengesetzten Richtung der anderen gebaut, so dass *x* den positiven Pol, *y* aber den negativen Pol oben hat. Beide unterste Platten der Säule sind durch einen Draht unter sich und zugleich durch eine Stanniolscheibe, womit die unterste Fläche des Fußes bekleidet ist, mit der Erde verbunden. Die Deckplatten der Säulen stehen durch spiralförmig gewundene Drähte *xd* und *ye* mit den Blechen *md* und *ne* in Verbindung, und letztere werden durch die Federkraft der Spiralen in der gehörigen Lage gehalten«.

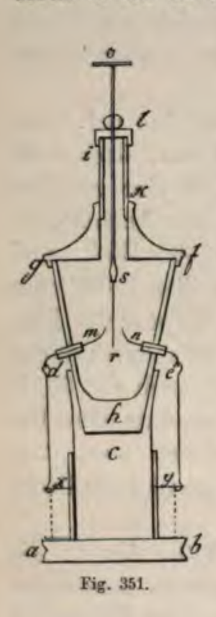


Fig. 351.

»Regeln für den Gebrauch des Instrumentes sind: der elektrische Körper muss nur langsam genähert werden. Hat das Goldblättchen angeschlagen, so muss der Draht *o* vor Anstellung eines zweiten Versuches ableitend berührt sein«.

Der Vorschlag von Behrens fand zunächst wenig Anklang. Erst Bohnenberger (1765—1831) und Fechner (1801—1887) brachten seinen Messapparat zu allgemeinerer Aufnahme, während die Trockensäule bereits 1812 selbst in weiteren Kreisen bekannt wurde. Dazu trugen freilich weniger die Arbeiten, die De Luc[1]) über sie veröffentlichte, bei, als die Herstellung eines »Perpetuum mobile« durch Zamboni[2]), welches Fig. 352

1) De Luc, Nicholsons Journal. 1810. Bd. 26. S. 69.

2) Zamboni, Brugnatelli Giornale de Fisica, Chimica etc. 1812 und 1813. Gilberts Annalen. 1815. Bd. 49. S. 35. Gehlers physik. Wörterb. Bd. VIII. S. 110.

zeigt. Zwischen den entgegengesetzten Polen zweier nebeneinander aufgestellten, aus Gold- und Silberpapier aufgebauten trockenen Säulen *JP* ist eine leichte Metallnadel *ccc* angebracht, die bei *M* auf einer Schneide ruht. Indem ihr oberes Ende *A* abwechselnd von den die Pole bildenden Kugeln *D* angezogen und wieder abgestoßen wird, gerät sie in Schwingungen, die sehr lange Zeit andauern. War der Apparat in dieser Form auch nur eine Spielerei, so lenkte er doch die Aufmerksamkeit auf die Trockensäule und ihre Verwendbarkeit für elektrische Messungen.

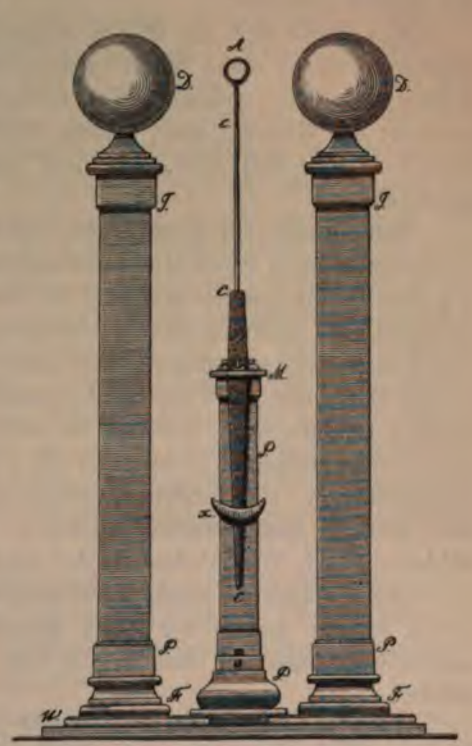


Fig. 352.

6. Oersted, Schweigger und Ampère. Das Galvanometer.

So nützlich auch das Elektroskop war, so ließen sich doch nur die Wirkungen der offenen Säule damit bestimmen, für die der geschlossenen fehlte jeder Messapparat. Einen solchen ermöglichte die Entdeckung, die Oersted 1820 machte und unter dem Datum des 21. Juli veröffentlichte. Man hatte schon vor ihm, wiewohl vergeblich, versucht, bei offener galvanischer Kette die Magnetnadel zur Ablenkung zu bringen. Mit besserem Erfolge wiederholte Oersted diese Versuche mit der geschlossenen. Über seine Arbeiten, bei denen ihn sein Freund, der Justizrat Esmarch unterstützte, lässt er sich, wie folgt, aus[1]: »Der galvanische Apparat, dessen wir uns bedient haben, besteht aus 20 rechteckigen kupfernen Zellen, die jede 12 Zoll lang, 12 Zoll hoch und $2\frac{1}{2}$ Zoll breit und jede mit zwei Kupferstreifen versehen ist, welche so geneigt sind, dass sie den Kupferstab tragen können, der die in der Flüssigkeit der benachbarten Zelle schwebende Zinkplatte hält. Das Wasser, womit die Zellen angefüllt wurden, war mit $\frac{1}{60}$ seines Gewichtes Schwefelsäure und mit eben-

---

1) Schweiggers Journal für Chemie und Physik. XXIX. Bd. S. 275 u. ff. Die Abhandlung führt den Titel: Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam. Eine deutsche Übersetzung in demselben Bande dieser Zeitschrift. S. 364 u. ff. S. auch Ostwalds Klassiker der exakten Wissensch. Nr. 63.

soviel Salpetersäure versetzt, und der in jeder Zelle eingetauchte Teil der Zinkplatte war ein Quadrat von 10 Zoll Seite. Doch können auch kleinere Apparate gebraucht werden, wenn sie nur einen Draht zum Glühen zu bringen vermögen«.

»Man denke sich die beiden entgegengesetzten Enden des galvanischen Apparates durch einen Metalldraht verbunden. Diesen werde ich der Kürze halber stets den verbindenden Leiter oder den verbindenden Draht nennen; die Wirkung aber, welche in diesem verbindenden Leiter und um denselben vor sich geht, mit dem Namen elektrischen Konflikt bezeichnen«.

»Man bringe ein geradliniges Stück dieses verbindenden Drahtes in horizontaler Lage über eine gewöhnliche, frei sich bewegende Magnetnadel so, dass er ihr parallel sei; und zu dem Ende kann man den Draht ohne Schaden nach Belieben biegen. Ist alles so eingerichtet, so wird die Magnetnadel in Bewegung kommen, und zwar so, dass sie unter dem vom negativen Ende des galvanischen Apparates herkommenden Teile des verbindenden Drahtes nach Westen zu weist. Ist die Entfernung des Drahtes von der Magnetnadel nicht mehr als $\frac{5}{4}$ Zoll, so beträgt diese Abweichung ungefähr 45°. Bei größerer Entfernung nehmen die Abweichungswinkel ab, wie die Entfernungen zunehmen. Übrigens ist die Abweichung verschieden, nach Verschiedenheit der Stärke des Apparates«.

»Der verbindende Draht kann nach Osten oder Westen bewegt werden, wenn er nur immer der Nadel parallel bleibt, ohne dass dieses einen anderen Einfluss auf den Erfolg hat, als dass die Abweichung kleiner wird« . . .

»Wenn sich der verbindende Draht in einer horizotalen Ebene unter der Magnetnadel befindet, so gehen alle angegebenen Wirkungen nach entgegengesetzter Richtung vor, als wenn er in einer über derselben befindlichen horizontalen Ebene ist, sonst aber auf ganz gleiche Weise. Der Pol der Magnetnadel, unter welchem sich derjenige Teil des verbindenden Drahtes befindet, in welchem die Elektrizität des negativen Endes des galvanischen Apparates zunächst hineintritt, weicht jetzt nach Osten ab.«

»Damit man dieses leichter im Gedächtnisse behalte, bediene man sich folgender Formel: der Pol, über welchem die negative Elektrizität eintritt, wird nach Westen, der Pol, unter welchem sie eintritt, nach Osten zu gedreht.«

»Dreht man den verbindenden Draht in der horizontalen Ebene, so dass er allmählich immer größere Winkel mit dem magnetischen Meridian macht, so wird die Abweichung der Magnetnadel vermehrt, wenn das Drehen des Drahtes nach dem Orte der gestörten Magnetnadel zuwärts geschieht; sie nimmt dagegen ab, wenn das Drehen von diesem Orte zurück geschieht«.

Weitere Versuche lehrten Oersted, dass der »elektrische Konflikt«, also der den Draht durchfließende Strom durch alle Körper hindurch auf die Magnetnadel wirke und dass er »in Kreisen fortgehe«. Ja, er glaubte

bewiesen zu haben, dass »die Wärme und das Licht der elektrische Konflikt sind«. Seine Abhandlung, welche er an zahlreiche Gelehrte, sowie an die Herausgeber wissenschaftlicher Zeitschriften schickte und so für ihr Bekanntwerden sorgte, erregte berechtigtes Aufsehen. Überall wurden die merkwürdigen Versuche wiederholt und bereits im September 1820 die Oerstedsche Entdeckung von Schweigger (1779—1857) zur Herstellung des Multiplikators benutzt, der den Zweck hatte, die Wirkung des Stromes auf die Nadel zu verstärken. »Daraus«, führte Schweigger[1]) in der Sitzung der naturforschenden Gesellschaft zu Halle am 16. September 1820 aus, »dass eine Umkehrung der Wirkung erfolgt, je nachdem der Polardraht unter oder über der Nadel hing, und ebenso, je nachdem vom positiven oder negativen Pole her der Draht geleitet wird, daraus lässt sich, sage ich, durch eine leichte Schlussfolgerung eine Verdoppelung der Wirkung ableiten, die sich auch in der Erfahrung bewährt. Ich lege zunächst den einfachen Verdoppelungsapparat, wo sich die Bussole zwischen zwei umschlungenen Drähten befindet, der Gesellschaft vor. Leicht wird eine Vervielfachung der Wirkung sich erhalten lassen, wenn man die Drähte nicht bloß einmal, sondern mehrmals umschlingt. Jene einfache Umschlingung aber reicht schon hin, um die Versuche Oersteds bloß mit kleinen Streifen von Zink und Kupfer, die in Salmiakwasser getaucht sind, wiederholen zu können«.

Genauer beschreibt er seinen Verdoppelungsapparat in einem am 4. November gehaltenen Vortrage. »Das Prinzip«, sagt er da, »dessen ich mich zur Verstärkung der Erscheinung, gleichsam zur Konstruktion einer elektromagnetischen Batterie bediente, war die Umschlingung der Drähte um die Bussole, und hier lege ich der Gesellschaft eine Schleife vor, aus mehrfach umschlungenen, mit Wachs überzogenen Drähten (Fig. 353). Während die einfachen Drähte beim Gebrauche dieser schwachen elektrischen Kette die Magnetnadel nur um etwa 30 bis 40° abstoßen, wird sie, in die eine Öffnung dieser in den magnetischen Meridian gestellten Schleife gebracht, 90° gegen Osten, in den anderen 90° gegen Westen beim Gebrauche derselben schwachen elektrischen Kette abgestoßen werden«.

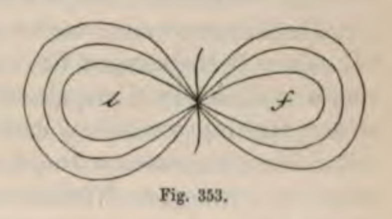


Fig. 353.

»Aber ich will noch einen anderen Apparat hier beschreiben, der gleichsam bloß auf einer Erweiterung der Schleife beruht, wodurch die Magnetnadel auf jeden beliebigen Winkel zwischen 0° und 180° gestellt werden kann. In Fig. 354, S. 376, stellt der Kreis *agbha* eine runde Glasscheibe vor, von oben herab, perpendikulär über ihren Mittelpunkt betrachtet. Ein Silberdraht, mit Seide übersponnen, werde um dieselbe geschlungen, so

1) Schweigger, Journal für Chemie und Physik. 1821. Bd. 31. S. 2.

dass er von a nach b unterhalb der Glasscheibe, und von b nach a über der Scheibe hinlaufe, in der Art mit Wachs an der Glasscheibe befestigt, dass eine Bussole, welche durch die Magnetnadel angedeutet ist, zwischen dem Glase und dem oberhalb des Glases hinlaufenden Drahte Platz finden kann. Auf ähnliche Art wie ab ist auch cd um das Glas geschlungen, zuerst unterhalb und dann oberhalb des Glases hinlaufend, in ununterbrochenem Zusammenhange mit ab. Man begreift nämlich', dass ab, cd, ef u. s. w. einen kontinuierlich zusammenhängenden Draht vorstellen. Da dieser Draht mit Seide umsponnen ist, so kann der Vereinigungspunkt aller Drähte im Mittelpunkte der Scheibe keineswegs zum Vereinigungspunkte der entgegengesetzten Elektrizitäten werden, vielmehr läuft der elektrische Strom durch den ganzen umschlungenen Draht hin, und eine Magnetnadel, durch diesen elektrischen Strom bewegt und gleichsam immer in neuen Schlingen gefangen, kann auf jeden beliebigen Winkel gestellt werden«.



Fig. 354.

Während nun Schweigger seinen Multiplikator nur zur Erläuterung elektromagnetischer Erscheinungen benutzte, machte ihn im folgenden Jahre Poggendorff (1796—1877) zum Messapparate. Den ihm gegebenen, allerdings nicht passenden Namen Kondensator änderte Erman[1]), der den Apparat zuerst beschrieb, in den von Ampère zuerst gebrauchten des Galvanometers ab und erwartete von ihm, dass er »ein wahres Kleinod« für die Elektrochemie werden möchte. Habe doch bereits Poggendorff bei seinen Bestimmungen des elektrischen Leitungsvermögens verschiedener Stoffe auffallende Unregelmäßigkeiten gefunden. Poggendorff hatte seinen Apparat so erhalten, dass er einen kupfernen, etwa $\frac{1}{10}$ Linie starken, mit Seide umsponnenen Draht »in kreisförmigen, dicht auf- und nebeneinander gedrängten Windungen aufgewickelt, den Bündel von beiläufig 40 bis 50 Gewinden festgeschnürt, dann zu einer elliptisch länglichen Form zusammengedrückt hatte, so dass im inneren Umfange dieses Kondensators eine Nadel, wenn die zwei Enden des Drahtes an die Faktoren der Kette angesetzt werden, frei spielen könne, entfernt von den inneren Gewinden des Drahtes überall nur um ungefähr 2 Linien«. Die Empfindlichkeit des Instrumentes fand Poggendorff mit der Anzahl der Windungen aber langsamer als diese zunehmen, beobachtete auch, dass, wenn die Anzahl eine gewisse Größe erreicht hatte, die Empfindlichkeit nicht mehr wuchs.

Auch in Frankreich hatten Oersteds Versuche das größte Interesse erregt, und namentlich waren es Arago (1786—1853) und Ampère

1) Erman, Umrisse zu den physikalischen Verhältnissen des von Herrn Professor Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus. Berlin 1821. S. 105—112.

(1775—1836), welche sich, nachdem sie sie auf der Versammlung der schweizerischen und französischen Naturforscher in Genf im Jahre 1820 kennen gelernt hatten, eingehend mit ihnen beschäftigten. Zunächst wiederholten sie die Versuche und beobachteten dabei, dass eine Stahlnadel dadurch magnetisiert werden kann, dass sie in eine vom Strome durchflossene Drahtspirale gesteckt wird[1]). Im Verlaufe seiner Arbeiten beobachtete Arago, dass ein über Eisenfeilicht gehender Draht sich mit jenem dicht bedeckte, sobald ein Strom hindurchging, dass er es wieder fallen ließ, wenn der Strom unterbrochen wurde. Da die sich so äußernde Kraft des Stromes als seiner Stärke proportional sich ergab, so glaubte Arago in der Wägung der anhängenden Eisenteilchen ein Mittel zur Messung der Stromstärke gefunden zu haben.

Bequem wäre ein solches freilich nicht gewesen, der Schweiggersche Multiplikator war ohne Zweifel zweckmäßiger, und wenn auch Aragos Idee später in einzelnen Fällen, freilich in sehr veränderter Form, zur Anwendung kam, so wurde jener bald allgemein und auch in Frankreich als Strommesser eingeführt, nachdem er von Ampère, den seine elektrodynamischen Arbeiten unabhängig von Schweigger darauf geführt hatten, bekannt gegeben worden war. In der nämlichen Sitzung der Pariser Akademie der Wissenschaften vom 18. September 1820, in der er sein neues Messinstrument vorzeigte, berichtete er[2]) über diese Arbeiten, die für die Lehre vom Galvanismus bald grundlegend wurden. Er zeigte, dass die elektromotorische Wirksamkeit sich auf zweierlei Weise äußere, als elektrische Spannung und als elektrischer Strom. Während jene an Leitern und Nichtleitern beobachtet und mit dem Elektrometer gemessen werden kann, ist dieser an die Leiter gebunden und nur durch seine chemische Wirkung oder die Ablenkung der Magnetnadel nachzuweisen. Man müsse ihm zweierlei Richtungen zuerkennen, doch werde die Bezeichnungsweise sehr wenig einfach, wolle man darauf immer Rücksicht nehmen. Ampère schlägt deshalb vor, die Richtung der strömenden positiven Elektrizität als Strom zu bezeichnen und so zugleich diesen Begriff festzulegen. Um mit Hilfe der Ablenkung einer Magnetnadel die Richtung des Stromes zu finden, stellte er die bekannte Schwimmerregel auf und machte den weiteren Vorschlag, ein auf diese Weise hergestelltes Instrument, welches in derselben Weise wie das Elektrometer eine Ladung der Elektrisiermaschine und deren Stärke angebe, den Strom und seine Energie messen lasse, ein Galvanometer zu nennen. Da aber Schweigger seinen Multiplikator bereits am 16. September 1820 vorgezeigt hatte, so gebührt ihm die Priorität vor

---

1) Annales de Chimie et de Physique. 1820. T. XV. S. 93—102. Siehe auch Collection de Mémoires relatifs à la Physique publiés par la Société française. T. II. Electrodynamique I. Paris 1885. S. 55.

2) Ampère, Annales de Chimie et de Physique. 2. Sér. T. XV. S. 59 ff. und 170 ff. S. Recueil d'observations électrodynamiques. Paris 1822. S. 1 ff. und Collection de mémoires relatifs à la Physique. T. II. Electrodynamique I. S. 12.

Ampère. Sollte nun die Wirkung eines Stromes auf eine Nadel eine recht starke sein, so musste man ihren Magnetismus möglichst schwach machen, und das erreichte Ampère[1]) 1821 durch Einführung der astatischen Nadel, zweier gleich starker Magnetnadeln, welche mit entgegengesetzt gerichteten Polen an ein unmagnetisches Verbindungsstäbchen befestigt werden.

Ampère ist also der Erfinder der Verbindung zweier Magnetnadeln behufs Aufhebung der Einwirkung des Erdmagnetismus auf dieselben. »Den nämlichen Versuch«, so beschreibt er sie, »kann man auch vermittelst eines einfacheren Apparates anstellen, in welchem die beiden Nadeln SN und $S'N'$ (Fig. 355) an einem und demselben Zapfen befestigt sind, und deren gleichnamige Pole entgegengesetzte Richtungen haben, so dass die richtende Kraft der Erde auf die eine durch die entgegengesetzte Wirkung, die sie auf die andere hervorbringt, aufgehoben wird. Man versichert sich zu Anfang des Versuches davon, dass sie in allen ihnen gegebenen Richtungen unbeweglich bleiben... Befindet sich der leitende Draht unter der Nadel SN, oder über $S'N'$, so müssen notwendig die beiden Nadeln weit genug von einander entfernt sein, damit die leitenden Drähte, welche man auf die eine wirken lässt, nicht zu stark entgegengesetzt auf die andere wirken. Da der Strom horizontal läuft, so sieht man in diesem Versuche ebensowohl als in dem vorhergehenden, die dem leitenden Drahte zunächst befindliche Nadel in der auf diesen Draht senkrechten Richtung sich fixieren, wobei ihr Südpol immer zur Linken des Stromes tritt. Befindet sich hingegen der Leiter zwischen den beiden Nadeln, so wirkt er auf alle beide auf gleiche Weise und seine Wirkung ist um so energischer, je näher sie einander sind«. So zeigte Ampère mit Hilfe des astatischen Nadelpaares die Ablenkung der Nadel durch den Strom, kam aber nicht darauf, sie zur Messung der Stromstärke in seinem Galvanometer zu benutzen.

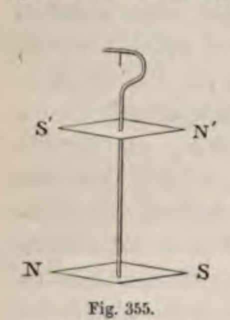


Fig. 355.

7. Ampère und die Einwirkung von Strömen auf Ströme und Magneten.

Das Studium der Wechselwirkung zwischen Strömen und Magneten führte den Pariser Akademiker sodann auf die Untersuchung des Einflusses, den ein vom Strom durchflossener Leiter auf einen anderen ebensolchen

1) Ampère und Babinet, Darstellung der neuen Entdeckungen über Elektrizität. Aus dem Französischen. Leipzig 1822. S. 36. Annales de Chimie et de Physique. 1821. T. XVIII. S. 320.

ausübt. Fig. 356 zeigte die abstoßende Wirkung zweier entgegengesetzt gerichteter Ströme. Das Stück CD des um die Achse EF drehbaren Leiters wurde durch den festen AB abgestoßen und gehoben. Da aber

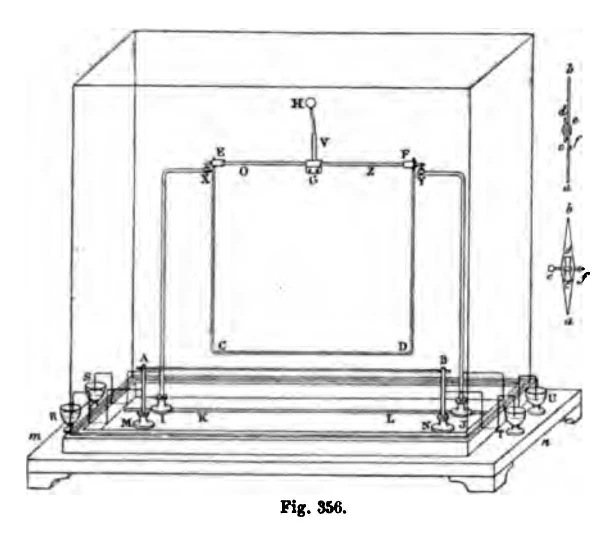


Fig. 356.

die vom Strome ausgeübte Kraft kaum ausgereicht hätte, um das Drahtviereck zu heben, so war in H ein Gegengewicht angebracht, um den

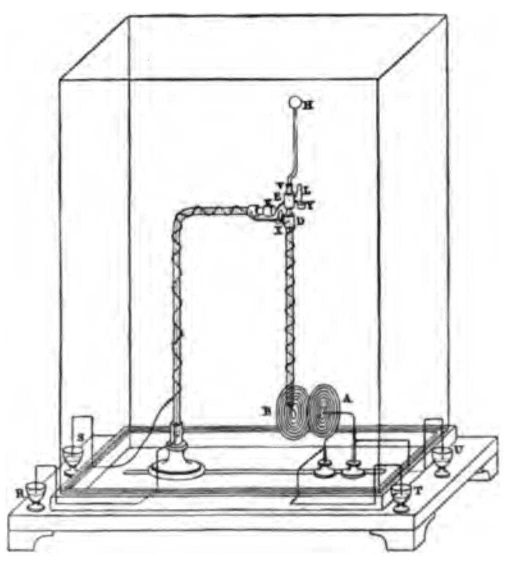
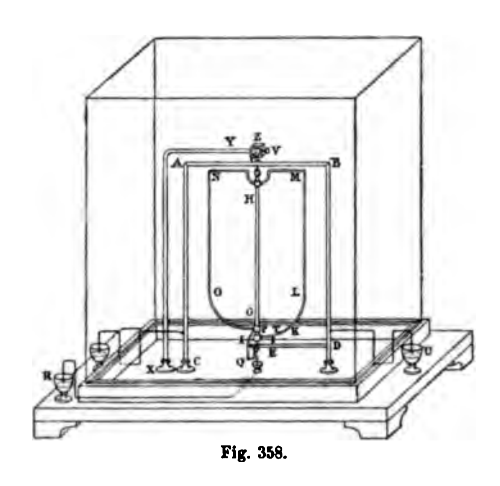
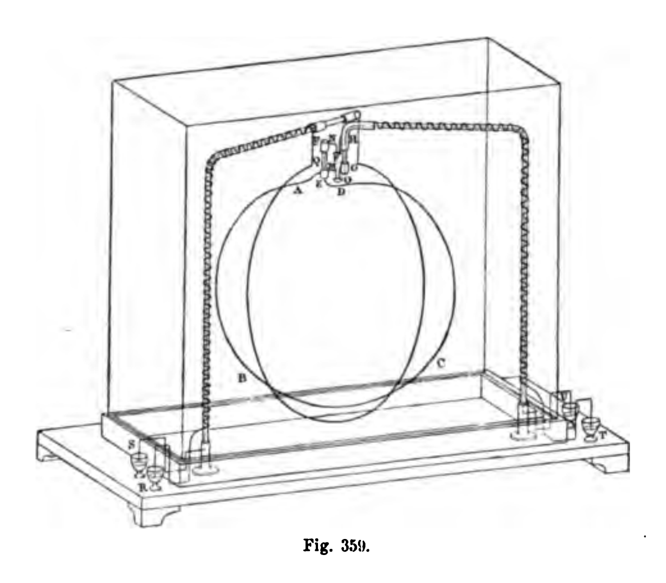


Fig. 357.

Schwerpunkt des Ganzen in die Achse zu verlegen. Um die Stromwirkung zu verstärken, ließ dann Ampère, wie Fig. 357 zeigt, zwei spiralförmig gewundene Drähte A und B aufeinander wirken. Der zu der beweglichen

Spirale aufgewundene Draht ging in schraubenförmigen Windungen außerhalb der einen Glasröhre nach B, in gerader Richtung in deren Inneren, von da zurück. Er war um die Achse XY drehbar, in die das Gegengewicht H wieder seinen Schwerpunkt verlegte. Anziehung und Abstoßung ließ sich mit den Apparaten, welche in den Figg. 358 und 359 dargestellt sind, beobachten. Sie bedürfen keiner weiteren Beschreibung; der Apparat (Fig. 360) sollte dazu dienen, die Wirkungen zweier Ströme aufeinander auch quantitativ zu untersuchen. Dazu war die gegenseitige Stellung und die Entfernung der Stromleiter durch die Stellschrauben K und M abzuändern und die durch die erste bewirkte Drehung konnte an dem Teilkreise ZT, die durch die zweite hervorgerufene Verschiebung an der geteilten Schiene gh abgelesen werden. Da Ampère beobachtet hatte, dass der Magnetismus der Erde auf das bewegliche Drahtviereck einen Einfluss ausübte, so hob er seine Wirkung dadurch auf, dass er


Fig. 358.


Fig. 359.

das Viereck aus zwei gleichen Teilen $ABCD$ und $abxd$ zusammensetzte, die der Strom in umgekehrter Richtung durchlief. Zur Abhaltung störender Luftströme wurden über die Apparate oder wenigstens über ihre beweglichen Teile Glaskästen gestülpt.

Indem Ampère durch seine Versuche auf die Wirkungen, die der Erdmagnetismus auf einen vom Strom durchflossenen Leiter ausübt, vielfach hingewiesen worden war, musste ihm daran gelegen sein, sie einer eingehenderen

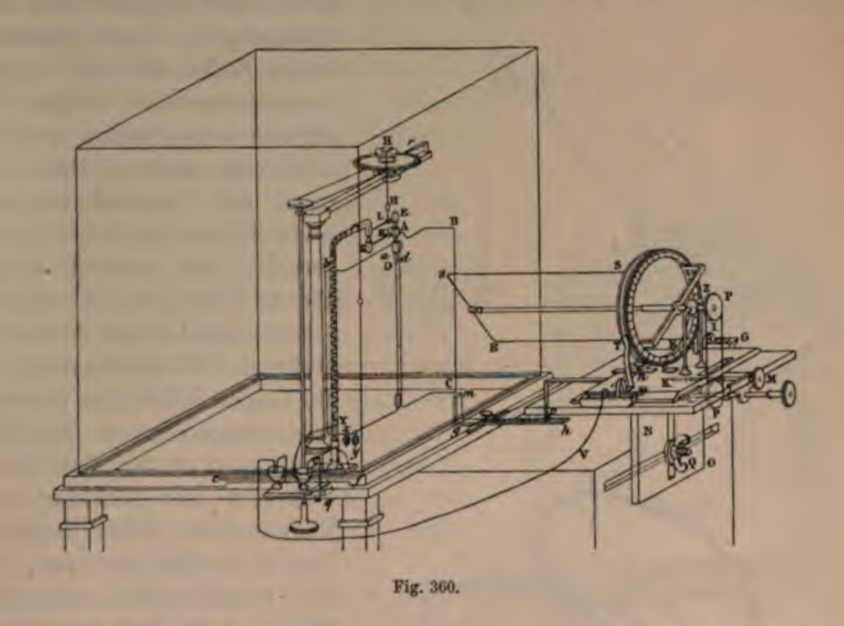


Fig. 360.

Untersuchung zu unterwerfen. Zu diesem Zwecke stellte er den in Fig. 361 vorgeführten Apparat her. AD und BF sind zwei an ihren Enden rechtwinkelig umgebogene Glasröhren, durch die Drähte gesteckt werden, von denen der eine von F zu dem Quecksilberköpfchen X, der andere durch D zu dem Näpfchen N geht. Ihre anderen Enden sind schraubenförmig um die Röhren gelegt und in der Mitte miteinander verbunden. Ampère erwartete nun, dass sich die Glasröhren, wenn durch die Drähte ein Strom geleitet wurde, in die Richtung der Deklinationsnadel stellten, sah sich aber getäuscht. Er vermutete, dass dies Misslingen der geringen Empfindlichkeit des Apparates zur Last gelegt werden müsse, und konstruierte deshalb, um die richtende Kraft des Erdmagnetismus auf den Strom nachzuweisen, den Apparat, welchen

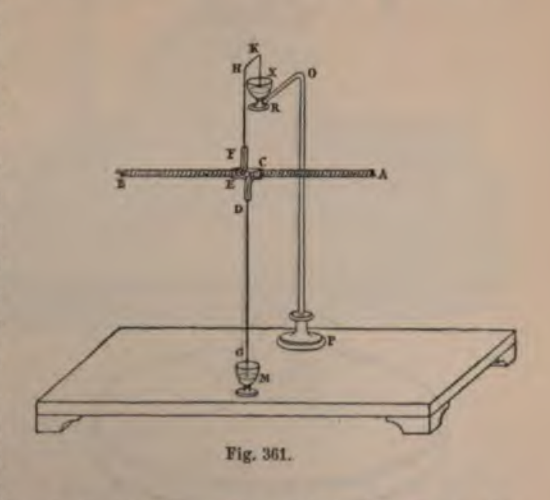


Fig. 361.

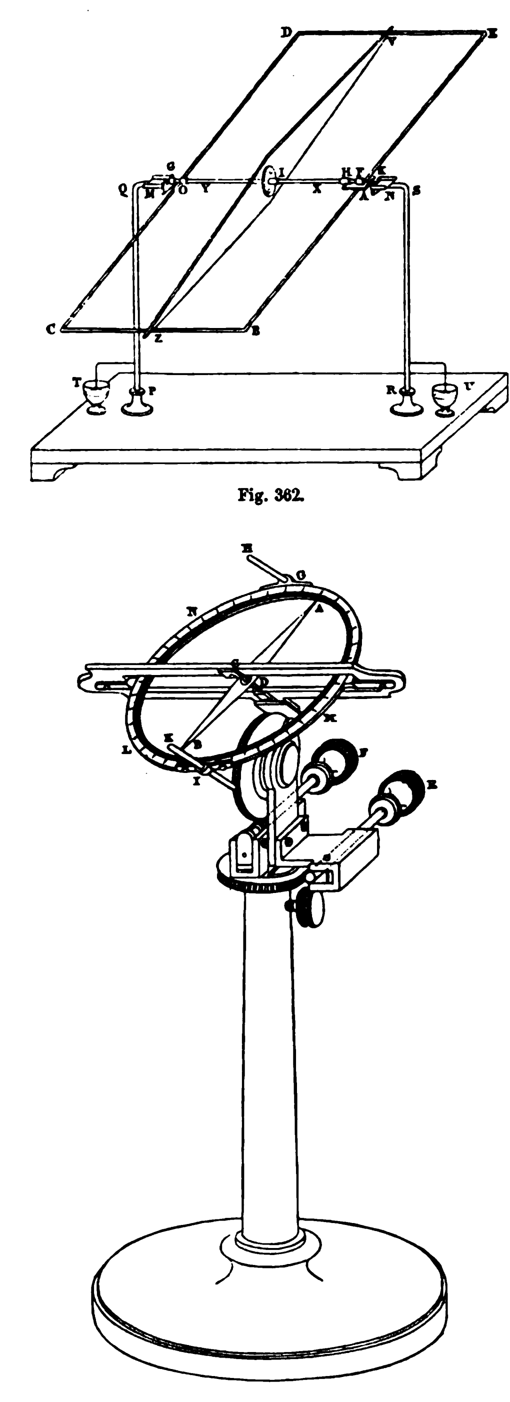

Fig. 362.

Fig. 363.

Fig. 362 vor Augen führt. Das aus Kupferdraht bestehende Rechteck *BCDE* wurde von zwei Glasröhren *PQ* und *RS* getragen, in deren pfannenartige Enden die an der als Achse dienenden Glasröhre *OH* angebrachten Spitzen drehbar aufgesetzt waren. Das Gewicht des Vierecks war auf beide Seiten der Achse gleich verteilt, ein rautenförmiges, dünnes Plättchen *VZ* aus Holz sicherte den Abstand der Seiten *DE* und *BC*. Stellte Ampère die langen Seiten des Vierecks dem magnetischen Meridian parallel, so stellte sich dieses senkrecht zur Richtung der Magnetnadel. Seine Empfindlichkeit reichte also aus, um die von Ampère vermutete Richtkraft des Erdmagnetismus darzuthun.

Sollte nun die richtende Kraft des Stromes auf die Magnetnadel unabhängig von allen anderen Wirkungen zur Anschauung gebracht werden, so war die Herstellung einer solchen nötig, welche der Einwirkung der Erdmagnetismen völlig entzogen war. Dazu wäre eine vollkommen astatische Nadel brauchbar gewesen. Ampère zog es aber vor, diese Versuche mit dem in Fig. 363 dargestelltem Apparate zu machen. Die Nadel wurde mit Hilfe eines um eine außerhalb seiner Ebene gelegenen Achse drehbaren Kreises *NM* senkrecht zur Richtung der Inklinationsnadel gestellt und

konnte so in jeder Stellung zur Ruhe gebracht werden. Die stromführenden Drähte wurden durch Löcher in den Stiften *GH* und *IK* geführt, und waren somit in verschiedene Entfernungen von der Nadel anzubringen.

Zufolge der Ansicht, welche sich Ampère von dem Wesen der Magnete gebildet hatte, musste er nun weiter annehmen, dass wie sie, auch die Erde von galvanischen Strömen umkreist sei. Dieser im Vergleich zu dem in einem Drahte verlaufenden als unbegrenzt anzusehende Endstrom musste dann aber im stande sein, einem um eine senkrechte Achse drehbaren Drahte, wenn dieser vom Strom durchflossen wurde, eine dauernde Drehung zu erteilen. Den Apparat, den Ampère zur Prüfung dieser Folgerung aus seiner Theorie herstellte, zeigt Fig. 364. Wir können von seiner eingehenderen Beschreibung absehen, da er, allerdings in etwas veränderter Form, auch in den neueren Lehrbüchern der Physik abgebildet und ausführlich beschrieben ist[1]). Er war der erste der großen Zahl von elektrodynamischen und magnetelektrischen Rotationsapparaten, wie solche später A. de la Rive, Faraday u. a. konstruierten. Haben diese auch ein hohes theoretisches Interesse, so waren sie für weitere Anwendungen nicht geeignet, mit Ausnahme des in Fig. 365 dargestellten Barlowschen Rades[2]), welches wohl als die erste magnetelektrische Maschine bezeichnet werden darf.

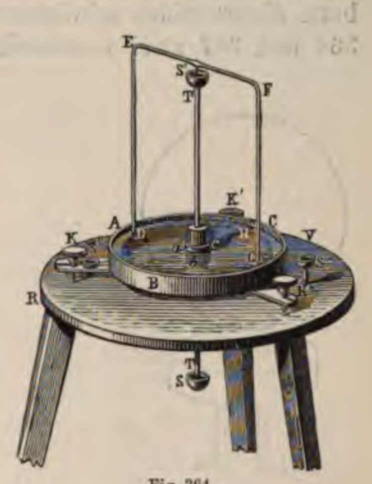


Fig. 364.

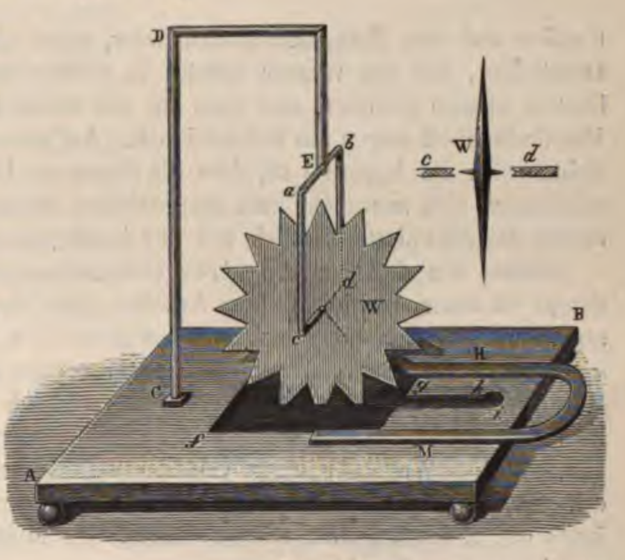


Fig. 365.

1) Ampère, Annales de Chimie et de Physique. 1822. 2. Sér. T. 20. S. 60 ff. Recueil d'observations S. 237 und Collection de mémoires relatifs à la Physique. T. II. Electrodynamique. I. S. 192 ff.

2) Barlow, Philosophical Magazine. 1822. T. 59. S. 21.

Auguste de la Rive[1]) (1801—1873) verfolgte wie Ampère mit seinem Apparate namentlich den Zweck, das Vorhandensein des Erdstromes nachzuweisen und setzte damit Untersuchungen fort, die bereits sein Vater Gaspard de la Rive[2]) (1770—1834) begonnen hatte. Zu dem Ende hatte dieser seinen schwimmenden Strom angegeben, von dem die Figuren 366 und 367 zwei verschiedene Formen zeigen, die erstere ein in eine

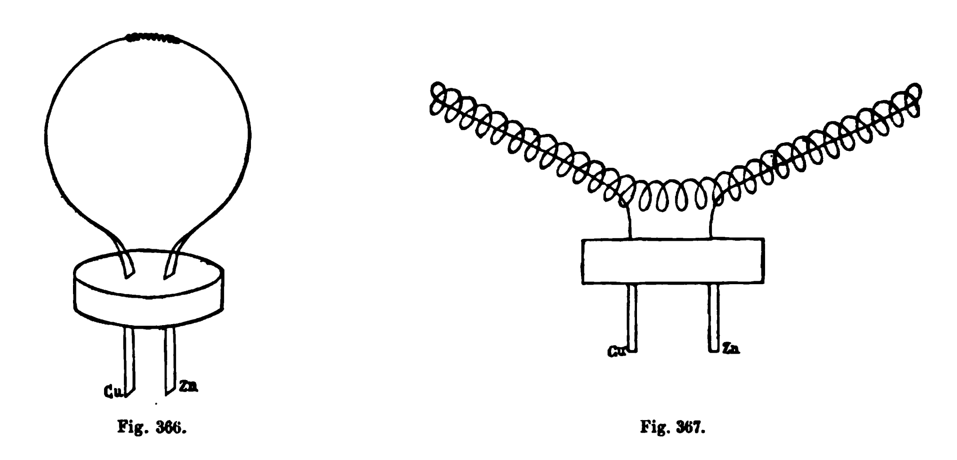


Fig. 366. Fig. 367.

Kupfer- und eine Zinkplatte auslaufender, durch eine Korkplatte gesteckter Drahtbügel, der auf Wasser gesetzt in senkrechter Lage schwimmt, die letztere ebenso gebildet, nur dass an die Stelle des Bügels der größeren Empfindlichkeit wegen ein Solenoïd tritt. Auf angesäuertes Wasser gesetzt, richten sich die Apparate so, dass die Ebene des Bügels oder der Solenoïdwindungen sich senkrecht zum magnetischen Meridian stellen und bei dem ersten die Zinkplatte westlich von der Kupferplatte liegt.

Ebenso wie demnach Ampères Untersuchungen über den Erdmagnetismus zu einer Anzahl weiterer Arbeiten über den nämlichen Gegenstand anregten, so wurde auch seine Konstruktion des Galvanometers der Ausgangspunkt zur Herstellung vollkommenerer Apparate. Solche machten die Entdeckung der Thermoströme, von der sogleich die Rede sein soll, im höchsten Grade wünschenswert und so suchte man auf dem von Ampère beschrittenen Wege Apparate von der erforderlichen Empfindlichkeit zu erhalten, indem man neben Magnetnadeln, die von der Wirkung der Richtkraft der Erde möglichst befreit waren, den Multiplikator Schweiggers zur Anwendung brachte.

Sehr eigenartig ist die Art, wie J. Cumming[3]) (1777—1861) 1824 bei der Konstruktion eines »Galvanoskopes« die Astasie der Nadel zu erreichen

1) A. de la Rive, Annales de Chimie et de Physique. 1821. T. 21. S. 24 ff.
2) G. de la Rive, Bibliothèque universelle de Genève. 1821. T. 16. S. 201.
3) Cumming, Journal für Chemie und Physik. 1824. Bd. 40. S. 328.

suchte. Es ist in Fig. 368 abgebildet; »A, K sind zwei mit Quecksilber angefüllte Näpfchen«, beschreibt es Cumming, »welche mit den galvanischen Platten verbunden werden. $ABCDEFGHK$ ist ein um die Magnetnadel spiralförmig gewickelter Draht; abc, def sind Messingdrähte, welche an dem Galvanoskop befestigt sind und auf welchen sich die Drähte bg und eh verschieben lassen, ik und lm sind zwei Magnetstäbe, die von den Drähten bg und eh getragen werden und dazu dienen, die Magnetnadel zu neutralisieren. $opqr$ ist ein an dem Galvanoskop befestigter Messingdraht, an welchem ein kleiner, um qr drehbarer Magnet befestigt ist«.

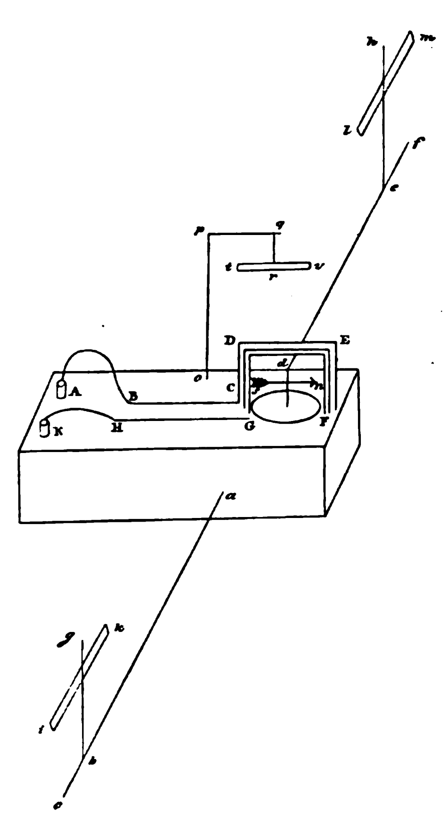


Fig. 368.

»Das Galvanoskop wird in die Richtung von Westen nach Osten gestellt; in dieser Richtung befindet sich auch die Ebene der Spirale, in welche dann auch die Magnetnadel durch die Wirkung der Magnetstäbe gestellt wird«.

»Es ist nötig, dass der die Spirale bildende Draht nicht weniger als $\frac{1}{25}$ Linie Durchmesser habe, und dass die Spirale wenigstens 4 bis 5 Windungen habe und sich so nahe wie möglich an der Nadel befinde.«

Cumming hebt also die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel mittels kompensierender Magnete, die er als der erste anwendete, auf. Wenn auch sein Galvanoskop zu mühsam zu behandeln war, um zu häufigerem Gebrauch zu gelangen, so sind doch solche Richtmagnete gerade in der neueren und neuesten Zeit sehr häufig angewendet. Das Bedürfnis, dies Galvanoskop bequemer zu machen, trat zudem deshalb nicht hervor, weil bereits ein Jahr nach der Veröffentlichung Cummings Nobili (1779—1835) den von Ampère nach Erfindung des astatischen Nadelpaares noch übrig gelassenen Schritt zur Herstellung eines leicht zu handhabenden und höchst empfindlichen Galvanometers that, der lediglich in der Vereinigung der astatischen Nadel mit dem Multiplikator bestand und dessen Ergebnis die Konstruktion des Strommessers war, welche bis zum heutigen Tage in unveränderter Form überall verwendet wird.

Fig. 369 zeigt das Gestell zur Aufnahme des Multiplikatordrahtes in perspektivischer Ansicht, Fig. 370 die des astatischen Nadelpaares von der Seite. »Das Instrument«, so beschreibt Nobili[1]) sein Galvanometer, »weicht nur in einem Punkte wesentlich von dem Galvanometer oder Multiplikator Schweiggers ab; statt einer Magnetnadel innerhalb des Gestelles, um das

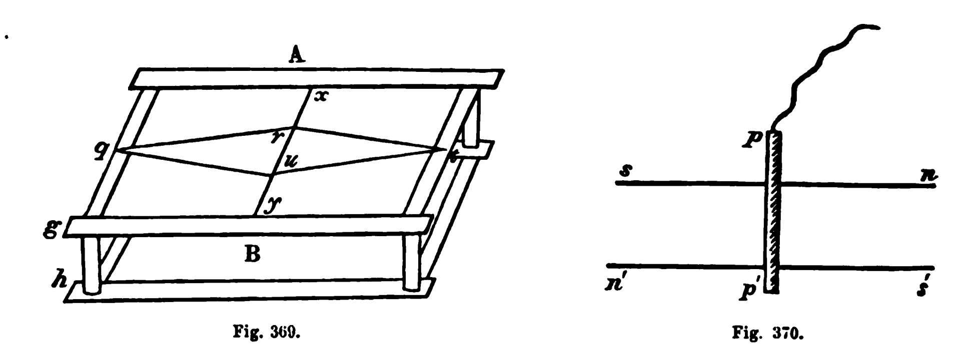


Fig. 369. Fig. 370.

der Leitungsdraht geschlungen ist, habe ich mein Galvanometer mit zwei Nadeln versehen, die von gleichen Dimensionen, in paralleler Richtung an einem Strohhalm derartig befestigt sind, dass dieser durch den Mittelpunkt beider hindurchgeht, und die zugleich einander entgegengesetzt magnetisiert sind, so dass der Nordpol der einen dem Südpol der anderen entspricht. Ihre Entfernung von einander und die Länge des Strohhalmes, an welchem sie aufgehängt sind, ist auf eine Weise eingerichtet, welche die freie Drehung der Nadel möglich macht: der einen innerhalb des Gestelles und der anderen unmittelbar über demselben. Diese Anordnung zu erhalten und die untere Nadel in das Innere des Gestelles einführen zu können, trennt man am besten das Drahtgestelle in zwei gleiche Bündel, die man dermaßen gegen die Seiten des Gestelles andrängt, dass dadurch eine rhomboidale Öffnung gebildet wird, welche weit genug ist, um die Nadel hindurchzulassen [*qutr*, Fig. 369]«.

»Der graduierte Kreis, auf dem die Ablenkung gemessen wird, ist bei meinem Instrument zwischen der oberen Nadel und der oberen Fläche des Gestelles angebracht und mit einer ähnlichen Öffnung für das Einbringen der Nadel versehen. Auf diese Weise dient die eine Nadel als Zeiger, und die andere ist nur an den Seiten des Gestelles sichtbar.«

Schweigger änderte den Nobilischen Apparat dahin ab, dass er jede Nadel mit einer Multiplikatorschleife umgab. Auch diese Form des Galvanometers ist noch in Anwendung.

1) Nobili, Bibliothèque universelle de Genève. 1825. T. 29. S. 119. Journal für Chemie und Physik. 1825. Bd. 45. S. 249.

8. Seebeck und Ohm. Die Thermoströme und das Ohmsche Gesetz.

Je mehr die Versuche Oersteds wiederholt wurden, desto deutlicher trat hervor, dass noch manches bei ihnen Beobachtete der Aufklärung bedürftig war, wie denn zur Zeit ihrer Veröffentlichung im Jahre 1820 die Wissenschaft über klare Vorstellungen vom elektrischen Strome durchaus noch nicht verfügte. Deshalb unterwarf Thomas Seebeck (1770—1831) die Experimente Oersteds einer erneuten Prüfung und es glückte ihm bei dieser Arbeit eine ganz neue Art der Stromerregung zu entdecken[1]. Er wollte »Erscheinungen, welche ihm anzudeuten schienen, dass auch wohl zwei Metalle für sich, kreisförmig miteinander verbunden, ohne Mitwirkung irgend eines feuchten Leiters magnetisch werden«, auf die Magnetnadel ablenkend wirken möchten, genauer untersuchen und wählte zu diesen Versuchen zwei Metalle, welche er »als Glieder in den gewöhnlichen galvanischen Ketten mit Kupfer verbunden in manchen Stücken abweichend und veränderlich gefunden hatte, Wismut und Antimon«. Auf eine runde Kupferscheibe *B* (Fig. 371), die auf dem einem Ende *b* eines spiralförmig gewundenen Kupferstreifens *KK* lag, legte er eine Wismutscheibe und beobachtete eine Ablenkung der innerhalb der Spirale aufgestellten Magnetnadel, wenn er auf die Wismutscheibe das andere Ende der Spirale *a* mit dem Finger aufpresste. Das nämliche beobachtete er, wenn er anstatt der Wismut- eine Antimonscheibe nahm, nur wurde dann die Nadel im entgegengesetzten Sinne abgelenkt. Der Finger konnte dabei nicht die Rolle des feuchten Leiters übernehmen. Denn wenn das obere Ende der Spirale vermittelst einer mit Salzwasser benetzten Pappscheibe auf die Wismutscheibe gedrückt wurde, so erfolgte die Ablenkung der Magnetnadel im entgegengesetzten Sinne und war dieselbe, wie bei Anwendung der Antimonscheibe oder einem beliebigen anderen Metalle.

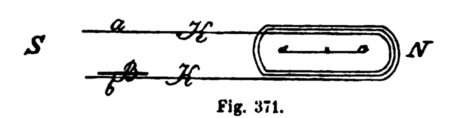


Fig. 371.

»Bei allen diesen Versuchen«, so schildert Seebeck[2] die Art, wie er die wahre Ursache der Ablenkung der Magnetnadel fand, »war die Wirkung am stärksten, wenn die Metalle und Erze unmittelbar mit der Hand berührt wurden, sie waren schwächer, wenn die Schließung mit dünnen Zwischenkörpern geschah (welche aber nicht zwischen der Spirale und dem zu untersuchenden Metall oder Erz liegen durften, wenn sie

1) Seebeck, Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften 1822—1823. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 70. Leipzig 1895.

2) Seebeck, a. a. O. S. 270.

unmetallische waren, sondern auf beiden), ja es fiel jede Wirkung auf die Magnetnadel weg, wenn die Enden der Spirale mit zwei Fuß langen Glas-, Holz- oder Metallstangen auf die Metallscheiben niedergedrückt wurden. Doch bald zeigte sich eine Bewegung der Magnetnadel, wenn die Hand an das untere Ende der Metallstangen, nahe dem Orte, wo sie den Bogen berührten, gelegt wurde, und wenn sie dort einige Zeit verweilte. Nach diesen Erfahrungen musste sich der Gedanke aufdrängen, dass nur die Wärme, welche sich von der Hand dem einen Berührungspunkte der Metalle stärker mitteilte, die Ursache des Magnetismus in diesen zweigliedrigen Ketten sein möchte.«

Dafür war es aber Bedingung, dass sich die Metalle berührten. Eine starke Bedeckung mit Oxyd an den Berührungspunkten hob die Wirkung auf. Ebenso wirkte ein nach Anweisung von Fig. 372 zwischen Antimon (*A*) und Kupfer (*K*) in *a* geschobenes Papierscheibchen; es zeigte sich keine Wirkung auf die Magnetnadel, wenn auch der Punkt *b* erwärmt wurde. Wurde das Papier mit Wasser befeuchtet, so änderte dies nichts, wurde es mit Salzsäure getränkt, so zeigte sich die Wirkung der eine galvanische Kette bildenden Kombination auf die Nadel. So kommt Seebeck zu dem Schlusse[1], »dass die erste und wichtigste Bedingung der Erscheinung des freien Magnetismus in diesen metallischen Kreisen Differenz der Temperatur an den beiden Berührungspunkten der Glieder ist«, wobei unter freiem Magnetismus der die Magnetnadel ablenkende Strom zu verstehen ist. Um die Berührung zu sichern, empfahl Seebeck die Berührungsflächen aneinander zu löten und gab bereits u. a. die in Figg. 373 und 374 dargestellte Form der Thermoelemente an, welche auch

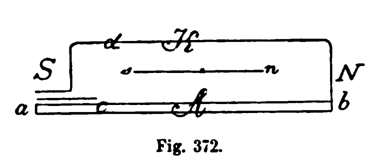


Fig. 372.

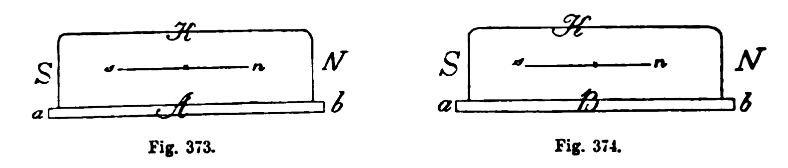


Fig. 373. Fig. 374.

jetzt noch in den Vorlesungen zum Nachweise der Thermoelektrizität benutzt werden. Dabei bedeutet *A* einen Antimon-, *B* einen Wismutstab, *K* einen Kupferdraht. Seebeck untersuchte sodann alle ihm zugänglichen Metalle und stellte sie in einer Reihe zusammen, welche ihr gegenseitiges thermoelektrisches Verhalten bestimmen ließ. Diese thermoelektrische Spannungsreihe, die er im Februar 1822 der Akademie der Wissenschaften vorlegte, ist später mit empfindlicheren [illegible]raten fast vollständig bestätigt worden.

1) *Seebeck*, a. a. O. S. 273.

Der in Fig. 375 dargestellte Apparat diente ihm sodann dazu, »die magnetische Polarisation von Ketten, welche aus mehreren einzelnen Gliedern oder Gliederpaaren bestehen« zu untersuchen, der abgebildete im

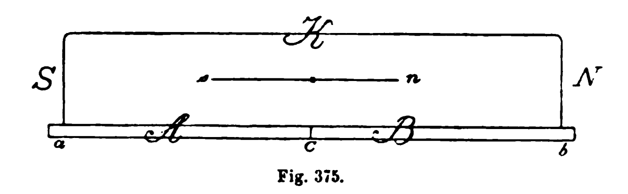


Fig. 375.

besonderen für drei Metalle, nämlich Antimon, Wismut und Kupfer. Auch in diesem Falle fand er das Gesetz bestätigt. Erwärmte er *c*, so erhielt er die entgegengesetzte Ablenkung der Nadel, als beim Erwärmen von *a* und *b*.

Die von Seebeck benutzten galvanometrischen Vorrichtungen waren viel zu unempfindlich, als dass er an ihnen einen Ausschlag bei geringen Wärmeunterschieden der Lötstellen hätte beobachten können. Dazu konnten die Thermoelemente erst in Verbindung sehr empfindlicher Galvanometer dienen und so blieb Nobili[1]) die Entdeckung vorbehalten, dass sich auf solche Weise sehr kleine Temperaturänderungen beobachten ließen. Er stellte zu diesem Behufe 1830 seine Pila a scatola, sechs in einem Kreis gestellte Antimon-Wismutelemente zusammen[2]), der er 1835 die noch empfindlichere Pila a raggi, welche Fig. 376 wiedergiebt, zur Seite stellte; 12 Thermoelemente, welche als Radien eines Kreises aufgestellt waren, bilden sie[3]). Unterdessen hatte 1830 Melloni[4]) (1798—1854) mit einer aus 16 Elementen zusammengestellten Säule, deren Wirkung für den Nachweis von Wärmestrahlen er noch durch Zufügung eines konischen Reflektors verstärkte, seine Untersuchungen begonnen, die in das Gebiet der strahlenden Wärme zuerst Klarheit brachten.

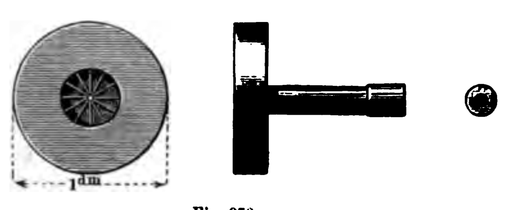


Fig. 376.

Seebecks Ausdrucksweise weicht, wie der Leser bereits aus den wenigen im Wortlaut mitgeteilten Stellen entnommen haben wird, vielfach von der jetzt gewohnten ab. Es kann das nicht verwundern, da ja, wie bereits erwähnt wurde, zu der Zeit, in der er seine Versuche anstellte,

1) Nobili, Poggendorffs Annalen. 1830. Bd. 20. S. 245.
2) Ebenda. S. 246.
Ebenda. 1835. Bd. 36. S. 526. Gerland in Hofmanns Bericht über die Auswissenschaftlicher Apparate in London. Braunschweig 1878. S. 97.
nda. 1830. Bd. 20. S. 250.

noch so wenig Klarheit über den elektrischen Strom herrschte. Wenn nun diese auch erst durch Aufstellung des Ohmschen Gesetzes geschaffen wurde, so hat sich doch auch bereits Seebeck zu richtigen Vorstellungen durchgearbeitet. So nimmt er wenigstens einen Teil dieses Gesetzes vorweg, wenn er sagt[1]), »dass die durch Vergrößerung der Temperatur-Differenz in den vielgliedrigen metallischen Ketten zu gewinnende Verstärkung des Magnetismus durch Vermehrung der Länge der schlechteren Wärmeleiter eine Verminderung erleidet, woraus folgt, dass die Stärke der magnetischen Polarisation [also Stromstärke] dieser Ketten überhaupt im umgekehrten Verhältnis zu der Länge der Leiter steht«.

Ohm veröffentlichte sein Gesetz 1825 zugleich mit den Versuchen, die es bestätigten. Als Stromquelle nahm er anfangs eine Voltasche Säule. Da sie sich aber als zu unbeständig erwies, so wandte er nachher eine Thermosäule an, welche er mit seinem Messapparat vereinigte. Diesen nennt Ohm eine Coulombsche Drehwage von besonderer Einrichtung; wir würden sie ein Torsionsgalvanometer zu nennen haben. Sie ist in Fig. 377 dargestellt. Der Apparat[2]) wird von der Säule *gh* getragen, die durch die Stellschrauben *i* senkrecht gestellt werden kann. Auf ihr ruht zunächst die Platte *ff*, die wiederum den 6 Zoll hohen und 4½ Zoll weiten Glascylinder *vv*, dieser die Aufhängevorrichtung der Nadel *tt* trägt. Die Aufhängevorrichtung beschreibt Ohm folgendermaßen: »Sie besteht aus zwei Teilen, wovon der eine *nop* mit einer schwach konischen Höhlung versehen und auf der oberen Platte des Cylinders festgekittet ist, der andere *qrs* mit seinem 8 Linien dicken konisch auslaufendem Zapfen in die Höhlung des ersten genau passt und mit seiner 3 Zoll breiten Scheibe *rr* auf der ebenso breiten Scheibe *nn* des ersten Teiles aufliegt. An dem Zapfen *qs* ist mit großer Sorgfalt auf der Drehbank der Mittelpunkt der Drehung durch eine zarte konische Vertiefung angemerkt und hierauf derselbe auf

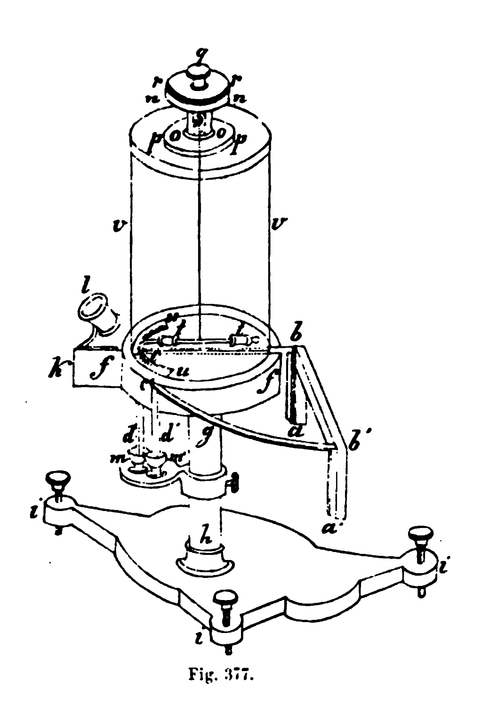


Fig. 377.

1) Seebeck, Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Berlin 1822 und 1823. S. 291.

2) Ohm, Schweiggers Journal. 1826. Bd. 46. S. 137.

einen halben Zoll seiner Länge so lange abgefeilt worden, bis sich auf der dadurch entstandenen ebenen Fläche jene konische Vertiefung als ein vollständiges Dreieck darstellte. Durch eine besondere Vorrichtung wird der Faden, an welchem die Nadel hängt, so an den Zapfen geklemmt, dass seine Mitte genau in die Spitze des Dreieckes fällt«.

»Die Magnetnadel *tt* ist aus 0,8 Linien dicken Stahldraht verfertigt und nicht volle 2 Zoll lang, ihre beiden Enden sitzen in cylinderförmigen Stücken Elfenbein, deren eines einen zart zugespitzten, nach unten etwas umgebogenen Messingdraht in sich trägt. Diese messingene Spitze, die als Zeiger dient, liegt dicht über dem auf dem Gestelle ruhenden, in Grade eingeteilten Bogen von Messing *uu*... Die so zubereitete Nadel wird von einem 5 Zoll langen Streifen Goldlahn getragen, der an der Drehwage genau im Mittelpunkt der Drehung befestigt ist.« Der Lahn bietet den Vorteil, dass nach jeder Ablenkung die Nadel mit Genauigkeit in ihre ursprüngliche Lage zurückgeht. Mit Hilfe der Lupe *l* wurde der Stand des Zeigers abgelesen.

Den Strom lieferte ein Thermoelement, welches aus dem Wismutstab *abb,a,* (Fig. 377) und den angelöteten Kupferdrähten *abc* und *a'b'c'* bestand,

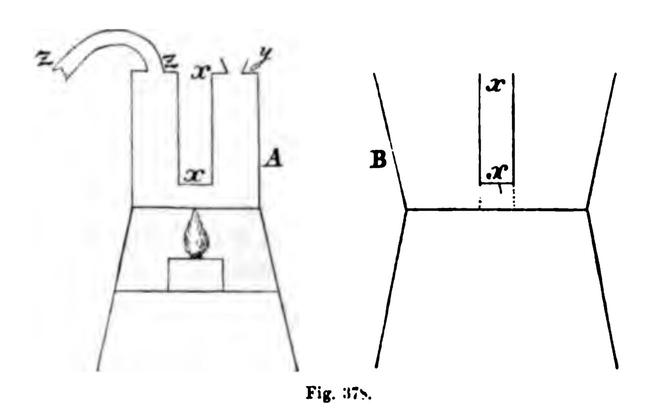


Fig. 378.

deren nach unten gebogene Enden in die Quecksilbernäpfchen *m*, *m'* tauchten. Der Draht *ab* ging durch den Glascylinder, so dass die Nadel in der Ruhelage über ihm stand. Um das Element in Wirksamkeit zu setzen, wurde jede der beiden Lötstellen in den inneren Raum *xx* eines doppelwandigen Gefäßes, Fig. 378, gesetzt, von denen das eine *A* mit Wasser gefüllt, das andere *B* mit schmelzendem Eis beschickt werden konnte. Das Wasser in *A* wurde durch eine untergestellte Lampe ins Sieden gebracht und darin erhalten, während der Dampf durch *xx* entweichen konnte. Der so erregte Strom lenkte die Nadel ab. Durch Torsion des die Nadel tragenden dünnen Metallstreifens wurde sie dann in ihre Ruhelage zurückgebracht und die Torsion abgelesen. Der genaueren Einstellung wegen war ein Seidenfaden unter der Nadel ihrer Ruhelage parallel ge-

und l so eingestellt, dass dann der Zeiger an tt gerade über dem Faden erschien. Zu seinen Versuchen benutzte Ohm Drähte von 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66 und 130 Zoll Länge und $\frac{7}{8}$ Linie Dicke. Die Beobachtungen ließen sich mit Hilfe des Gesetzes

$$X = \frac{a}{b + x}$$

wo X die Stärke der magnetischen Wirkung auf den Leiter, dessen Länge x ist, a und b zwei von der erregenden Kraft und dem Leitungswiderstande abhängige konstante Größen bedeuten, wiedergeben.

Anfangs fand das Ohmsche Gesetz, obwohl es sein Urheber 1827 in einer besonderen Schrift mathematisch begründete, nur wenig Beachtung. Das änderte sich aber bald, als Fechner[1]) im Jahre 1831, Pouillet[2]) (1790—1868) 1837 Ohms Versuche wiederholten, als Pouillet mit der zu diesem Zwecke konstruierten Tangentenbussole für seine Richtigkeit eintrat, Poggendorff[3]) diese Untersuchungen in Deutschland bekannt machte.

9. Faraday und die Induktion.

Während es Ampère und Ohm, von Oersteds Entdeckungen ausgehend, gelungen war, die bei ihnen in Betracht kommenden Erscheinungen in ihrem Zusammenhange klarzulegen, während Seebeck von demselben Ausgangspunkte die Thatsachen der Thermoelektrizität aufgefunden und eingehend untersucht hatte, war es Michael Faraday (1791—1867) vorbehalten, in einer großen Reihe von meisterhaften Experimentaluntersuchungen auf elektrischem und magnetischem Gebiete eine solche Fülle von neuem Material dem vorhandenen zuzufügen, dass es nun fast den Anschein hatte, als sei auf den von ihm durchforschten Gebieten in der That alles, was zu entdecken war, entdeckt. Zwar war Faraday von Ampères und Aragos Untersuchungen ausgegangen, aber die abstrakten Anschauungen des ersteren Forschers, dessen von Haus aus mathematischer Denkweise eine Wirkung in die Ferne ohne sie vermittelndes Medium keine Schwierigkeiten bot, war er nicht im stande zu den seinigen zu machen, und so richteten sich seine Untersuchungen nicht allein auf die Träger der Kräfte, sondern namentlich auch auf den ihre Wirkungen vermittelnden Raum, den er mit den Kraftlinien bevölkerte. So schuf er die Anschauungen, die, nachdem sie von Maxwell in mathematische Form gebracht worden sind, die Grundlage der neueren elektrischen Lehren und namentlich der Elektrotechnik abgeben. Ist somit ein Teil der Faradayschen Forschungen durchaus modern und auf ihn von uns hier somit nicht einzugehen, so

---

1) Fechner, Maaßbestimmungen über die galvanische Kette. Leipzig 1831.
2) Pouillet, Comptes Rendus. 1837. T. 4.
3) Poggendorffs Annalen. 1837. Bd. 42. S. 281.

bietet sich ein anderer unserer Darstellung dar. Namentlich müssen die Versuche und Apparate, mit deren Hilfe er die Induktionserscheinungen auffand, Gegenstand unserer Betrachtung sein.

Die Ergebnisse der Forschungen Faradays wirken deshalb so verblüffend, weil es unbegreiflich erschien, wie jemand auf den Gedanken, die jene Ergebnisse liefernden Versuche anzustellen, kommen konnte. Spricht nun gegen die Möglichkeit, dass hier der blinde Zufall im Spiele gewesen sei, bereits der ungemeine Reichtum an Entdeckungen, so hat auch Faraday uns seine Überlegungen mitgeteilt, die ihn in jedem Falle leiteten. Wie Papin geht er in folgerichtigem Denken Schritt für Schritt weiter und seine: »Experimental Researches«, die er seit dem Jahre 1832 in den Philosophical Transactions mitteilte und später in drei Bänden zusammengefasst noch einmal gesondert herausgab, gelten auch jetzt noch mit Recht als Muster experimenteller Untersuchungen.

Faradays früheste Arbeiten bewegten sich auf chemischem Gebiete, und auch hier hatte er sogleich einen Erfolg aufzuweisen, den man ihm anfangs nicht glauben wollte, es gelang ihm 1823, das Chlor durch Druck zu verflüssigen, die Verflüssigung eines zweiten Gases, der Kohlensäure, gelang erst 1835 dem Franzosen Thilorier. Doch hatte Faraday auch schon im Jahre 1821 seine erste Arbeit auf elektrischem Gebiete »über einige neue elektromagnetische Bewegungen und über die Theorie des Magnetismus« veröffentlicht. Wie er nun zu seinen Versuchen über die Induktion kam, das schildert er im Anfange seiner Experimentaluntersuchungen folgendermaßen[1]):

»Die der Spannungselektrizität eigentümliche Fähigkeit, einen entgegengesetzt elektrischen Zustand in ihrer Nähe hervorzurufen, bezeichnet man allgemein mit dem Namen Induktion. Da derselbe in die wissenschaftliche Sprache aufgenommen worden ist, so wird er auch passend in demselben allgemeinen Sinne gebraucht werden können, für die Fähigkeit elektrischer Ströme in ihnen unmittelbar benachbarten Körpern einen eigentümlichen, letzteren bis dahin fremden Zustand hervorzurufen. In diesem Sinne will ich mich dieses Ausdruckes bedienen«.

»Gewisse Induktionsvermögen elektrischer Ströme sind bereits erkannt und beschrieben worden: so die der Magnetisierung, ferner diejenigen, welche in Ampères Versuchen bei Annäherung einer Kupferscheibe an eine flache Spirale und in den von ihm wiederholten überraschenden Versuchen Aragos mit Elektromagneten auftraten, und vielleicht noch einige andere. Allein es war unwahrscheinlich, dass hiermit die Induktionswirkungen elektrischer Ströme erschöpft sein sollten, besonders deshalb, weil die bisher bekannten fast nur beim Eisen sich zeigen und somit eine unbegrenzte Anzahl von Körpern übrigblieb, auf welche, obschon sie der

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen über Elektrizität. Deutsche Übersetzung von S. Kalischer. Berlin 1889. Bd. 1. S. 1 ff.

Induktion der Spannungselektrizität zweifellos unterworfen sind, eine Induktionswirkung der strömenden Elektrizität bisher nicht nachgewiesen worden ist«.

»Ob man nun ferner Ampères schöne Theorie annimmt oder eine andere, oder welchen Vorbehalt man hierbei macht, so wäre es doch höchst befremdend, dass ein elektrischer Strom, der ja eine seiner Intensität entsprechende magnetische Wirkung in einer zu seiner Bahn senkrechten Richtung ausübt, in guten, innerhalb seiner Wirkungssphäre befindlichen Leitern weder einen Strom induzieren, noch sonst eine merkliche, an Kraft diesem gleichwertige Wirkung hervorbringen sollte«.

»Diese Erwägungen und die daraus geschöpfte Hoffnung, Elektrizität durch gewöhnlichen Magnetismus hervorzurufen, haben mich zu verschiedenen Zeiten angeregt, Versuche anzustellen zur Erforschung der Induktionswirkungen elektrischer Ströme. Endlich bin ich zu positiven Resultaten gelangt, und ich sehe nicht nur meine Hoffnung erfüllt, sondern glaube auch den Schlüssel zur vollständigen Erklärung der magnetischen Erscheinungen Aragos gefunden und einen neuen Zustand entdeckt zu haben, welcher wahrscheinlich in einigen der wichtigsten Wirkungen elektrischer Ströme eine große Rolle spielt«.

Um nun die Wirkung eines vom Strome durchflossenen Leiters auf einen nahe benachbarten zu prüfen, wickelte Faraday 12 Kupferdrähte von je etwa 26 Fuß Länge und $\frac{1}{20}$ Zoll Dicke in Schraubenlinien auf einen Holzcylinder. Die einzelnen Windungen waren zum Zwecke der Isolation durch Zwirnsfäden, und die einzelnen Lagen durch Kaliko voneinander getrennt. Nachdem sie gewickelt waren, wurden die einzelnen Drahtlagen abwechselnd miteinander verbunden, so dass zwei voneinander isolierte Drahtrollen von je 155 Fuß Länge entstanden, die in nächster Nähe einander parallel verliefen. Die eine von ihnen wurde mit den Polen einer Voltaschen Säule von 100 Plattenpaaren, die andere mit den beiden Klemmen eines Galvanometers verbunden. Beim Öffnen und Schließen der Kette wurden Ströme beobachtet, die, wie auch eine Wiederholung des Versuches mit einer Batterie von 120 Plattenpaaren ergab, als einander entgegengesetzt gerichtet erkannt wurden. Doch zwangen die Versuche zu der Annahme, dass die Dauer dieser Ströme »nur eine augenblickliche ist[1]), dass sie mehr den Charakter einer elektrischen Welle, wie sie bei der Entladung einer Leidener Flasche entsteht, als den eines galvanischen Stromes zeigen, und dass sie deshalb, obschon sie das Galvanometer kaum beeinflussten, dennoch im stande sein würden, eine Stahlnadel zu magnetisieren«. Dass diese Annahme das richtige getroffen hatte, bewiesen spätere Versuche; sie zeigten auch, dass beim Nähern und Entfernen zweier Drahtrollen, von denen eine vom Strome durchflossen war, ebensolche Induktionsströme entstanden, die beim Annähern die nämliche Richtung des

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 3.

Stromes ergaben, wie in dem ersten Versuche durch dessen Schließen, beim Entfernen die entgegengesetzte. Volta-Induktion nannte Faraday diese Art der Stromerregung.

Um nun auch mit Hilfe von gewöhnlichem Magnetismus Elektrizität zu erregen, um magnetisch-elektrische Induktion zu erhalten, nahm Faraday[1]) einen in seinem Besitze befindlichen starken natürlichen Magneten aus Sibirien und umwickelte ihn mit einer Drahtspirale b, Fig. 379, aus welcher seine Pole aa herausragten. Das eine Ende der Spirale trug eine kleine blanke oder amalgamierte Kupferplatte c, das andere lief in die blanke oder amalgamierte Spitze d aus. Wurde nun der Magnet von seinem (nicht dargestellten) Anker abgerissen, so wurde dabei gleichzeitig d ein wenig von c entfernt, und zwischen beiden sprang ein Funke über.



Fig. 379.

Faraday ersetzte dann den natürlichen Magnet durch einen Stab aus weichem Eisen, der durch künstliche Magnete ebenfalls magnetisch gemacht werden konnte. Den zu diesem Versuche dienenden Apparat zeigt Fig. 380[2]).


Fig. 380.

»Um einen hohlen Cylinder aus Pappe wurde ein System von Spiralen, aus acht Lagen von zusammen 220 Fuß langem Kupferdraht bestehend, gewickelt«. Die diese Spule »zusammensetzenden Spiralen wurden sämtlich mittels zweier, je 5 Fuß langer Kupferdrähte mit dem Galvanometer verbunden und der Eisencylinder konaxial in den Hohlraum der ersteren hineingesteckt; zwei Stabmagnete von je 24 Zoll Länge wurden einerseits mit ihren ungleichnamigen Polen in Berührung gebracht, so dass sie einem Hufeisenmagneten glichen, andererseits an die Enden des Eisencylinders angelegt, um ihn vorübergehend in einen Magnet zu verwandeln; durch Aufhebung der Berührung der Magnete oder durch Umkehrung derselben konnte nach Belieben der Magnetismus des Eisencylinders vernichtet oder umgekehrt werden«.

»Bei Herstellung des magnetischen Kontaktes wurde die Nadel abgelenkt und nahm, wenn die Magnete an dem Eisencylinder angelegt blieben, ihre ursprüngliche Lage wieder ein; wurde dieser Kontakt aufgehoben, so wich die Nadel wiederum aus, aber nach der entgegengesetzten Richtung,

1) Gerland in Hofmanns Bericht über die Ausstellung wissenschaftlicher Apparate. Braunschweig 1878. S. 101.

2) Faraday, a. a. O. Bd. I. S. 8 und 9.

wie im ersten Falle, und kehrte alsbald wieder in ihre Gleichgewichtslage zurück. Die Umkehr der magnetischen Kontakte hatte auch eine Umkehr im Sinne der Ausweichungen der Nadel zur Folge«.

Ein weiterer Versuch bezweckte darzuthun, dass auch die Bewegung eines Magneten gegen eine Spirale Induktionsströme in dieser hervorriefen. Dazu diente der Apparat, den Fig. 381 wiedergiebt. In der Drahtspirale befand sich ein Magnetstab, der in ihr hin und her bewegt werden konnte. Wurde er in die Spirale geschoben oder herausgezogen, so schlug die Nadel jedesmal, aber in verschiedenem Sinne, aus, beim Hereinschieben so, als wenn der Magnet erst gebildet worden wäre.



Fig. 381. Fig. 382.

Endlich zeigte Faraday mit dem Apparate, Fig. 382, dass ein Elektromagnet die nämlichen Wirkungen wie ein gewöhnlicher Magnet zeige. Aus einem runden Stabe weichen Eisens von »$\frac{7}{8}$ Zoll Dicke«, so beschreibt er diesen Versuch[1]), »wurde ein Ring von 6 Zoll äußerem Durchmesser geschmiedet. Um einen Teil des Ringes wurden drei Spiralen von je 24 Fuß langem Kupferdrahte von $\frac{1}{12}$ Zoll Dicke gewickelt und ... übereinander gelegt, von dem Eisenringe sowohl als auch voneinander isoliert; die Spiralen nahmen etwa 9 Zoll der Länge des Ringes ein und konnten einzeln oder miteinander verbunden werden; sie sind mit A bezeichnet. Um einen anderen Teil des Ringes wurde ein Spiralenpaar B von zusammen etwa 60 Fuß langem Kupferdrahte in demselben Sinne wie die Spirale A gewickelt. Zwischen den Enden der Spiralensysteme blieb ein Zwischenraum von einem halben Zoll unbedeckten Eisens«. Verband man nun die Enden des einen Drahtes mit den Polen einer Voltaschen Säule und schaltete in den anderen ein Galvanometer, so zeigte dieses eine Ablenkung in dem einen oder anderen Sinne, je nach der Richtung des Stromes. Auch mittels eines Funkens wies er den Induktionsstrom nach, indem er die Enden des Drahtes mit Kohlenspitzen versah. Der Funken trat jedesmal beim Schließen, seltner beim Öffnen des Stromes auf.

Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass Faradays Versuche über die Induktion, welche überall das größte Interesse erregten, vielfach wiederholt wurden. So stellt Fig. 383 den Apparat dar, mit dem Nobili und Antinori den in Fig. 379, S. 395, dargestellten Versuch mit dem natürlichen Magneten wiederholten. War ihr Apparat sehr viel kostbarer wie der,

---

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 7.

den Faraday benutzt hatte, so wirkte er dafür auch viel sicherer. Er bestand aus dem in einem Brette mit senkrecht übereinander befindlichen Polen befestigten starken Hufeisenmagnet AB, dessen Anker C durch einen Schlag mit der Hand auf den Hebel D abgerissen werden konnte. Der Anker bedeckte die Magnetpole nur zur Hälfte; er ist in seiner Mitte mit einer Spirale von Kupferdraht umwickelt, die in Federn endigten, welche die vom Anker nicht bedeckten Teile der Magnetpole berührten. Der Magnet schloss also die Spirale, wurde aber der Anker abgerissen, so wurde in den Spulen der Strom erregt und fast in demselben Augenblicke wieder unterbrochen. Hatten die Federn in der Ruhelage die Magnetpole gerade berührt, so trat beim Abreißen des Ankers der Funken auf. Der Apparat ist auch deshalb merkwürdig, weil eine fehlerhafte Bezeichnung des Datums seiner Veröffentlichung Zweifel an der Priorität seiner Erfindung durch Faraday zu gunsten der italienischen Forscher erregen konnte, die jener freilich von vornherein mit aller Energie zurückweisen zu müssen glaubte[1]).

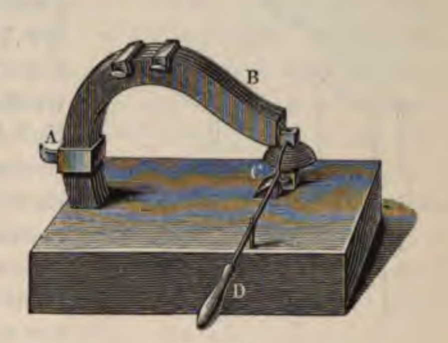


Fig. 383.

Nachdem er die Wechselwirkung zwischen Magneten und Strömen klar gelegt hatte, konnte Faraday auch daran denken, den merkwürdigen Versuch Aragos, der unter der Bezeichnung des Rotationsmagnetismus bekannt geworden war, zu erklären. Handelte es sich bei diesem doch auch um Magnete, in deren Nähe sich Leiter bewegten und den Magneten auch Bewegungen erteilten. Es lag mithin die Annahme nahe, dass durch den Magneten in den Metallmassen Ströme erzeugt würden, welche anziehend oder wiederum abstoßend auf ihn wirkten. Um diese Annahme zu prüfen, benutzte Faraday ein der königlichen Gesellschaft gehöriges großes, noch von Knight stammendes magnetisches Magazin, das aus 450 Stabmagneten von 15 Zoll Länge, 1 Zoll Breite und $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke bestand und so in einem Kasten angeordnet war, dass es an einem Ende desselben zwei äußere Pole darbot. »Um[2]) die Pole zu verstärken und sie einander näher zu bringen, wurden zwei etwa 6 oder 7 Zoll lange, 1 Zoll breite und $\frac{1}{2}$ Zoll dicke Eisen- oder Stahlstäbe quer über die Pole gelegt (Fig. 384, S. 398), und da sie durch eine Schnur am Abgleiten gehindert waren, so konnte ihr Abstand beliebig variiert werden ... Eine auf einer Messingachse befestigte Kupferscheibe von 12 Zoll Durchmesser und etwa $\frac{1}{5}$ Zoll Dicke wurde so

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 37. Vgl. Gerland in Hofmanns Bericht u. s. w. Bd. 1. S. 102.
2) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 23 ff.

an einem Gestelle angebracht, dass sie sich in vertikaler oder horizontaler Richtung drehen konnte, während sie mit ihrem Rande mehr oder weniger weit zwischen die Magnetpole hineinragte. Der Rand der Scheibe war sorgfältig amalgamiert, um einen guten, aber gleitenden Kontakt zu erhalten, und ein Teil der Achse war in ähnlicher Weise behandelt. Gegen den Rand der Kupferscheibe ... wurden kupferne oder bleierne Ableiter oder Kollektoren von etwa 4 Zoll Länge, $\frac{1}{3}$ Zoll Breite und $\frac{1}{5}$ Zoll Dicke angelegt. Das eine Ende derselben war zur Erzielung eines genaueren Anschlusses an den etwas konvexen Rand der Scheiben ein wenig ausgehöhlt und dann amalgamiert worden, von den anderen Enden dieser Leiterstücke führten durch Umwickelung mit ihnen verbundene Kupferdrähte von $\frac{1}{16}$ Zoll Dicke zum Galvanometer«, wie Fig. 385 zeigt. Der ausgezogene Ableiter zeigt die Stelle, wo er angebracht werden muss, die punktiert daneben gezeichneten bedeuten Stellen, an denen auch Strom abgenommen werden kann, der aber eine schwächere Ablenkung des Galvanometers bewirkt. Jedenfalls war hiermit »der Beweis [1]) geliefert, dass ein dauernder elektrischer Strom durch gewöhnliche Magnete hervorgebracht werden kann« und damit der Gedanke der magneto-elektrischen Maschine ausgesprochen. In der That finden wir die ersten Bestrebungen, solche zu konstruieren, bei Faraday. »Zwei rohe Versuche machte ich«, erzählt [2]) er darüber, »in der Absicht, magneto-elektrische Maschinen zu konstruieren. Einmal wurde aus einer dicken Kupferplatte ein Ring von $1\frac{1}{4}$ Zoll Breite und 12 Zoll äußerem Durchmesser herausgeschnitten und so aufgestellt, dass er zwischen den Magnetpolen rotieren konnte ... Die inneren und äußeren Ränder wurden amalgamiert und an jeden derselben, dicht bei den Polen, ein Ableiter angelegt. Der erregte elektrische Strom war, der Angabe des Galvanometers zufolge, nicht stärker, wenn überhaupt so stark, wie der von der kreisförmigen Scheibe abgeleitete. In dem anderen Falle wurden kleine dicke Scheiben aus Kupfer oder anderem Metalle von einem halben Zoll Durchmesser nahe den Polen in schnelle Rotation versetzt, wobei jedoch die Drehungsachse außerhalb der die Pole verbindenden Geraden lag; die erregte Elek-

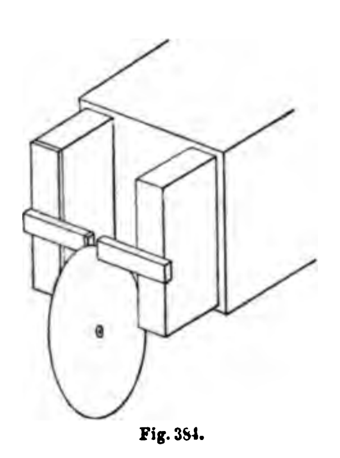


Fig. 384.

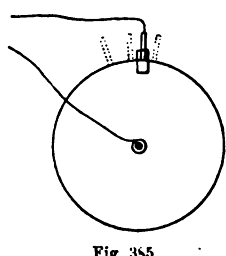


Fig. 385.

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 25.
2) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 35.

trizität wurde von Ableitern, die gegen die Ränder schleiften, gesammelt. Es wurden zwei Ströme erhalten, aber von viel geringerer Stärke als mit der kreisförmigen Scheibe«.

Ehe wir diese so wichtig gewordene Anwendung der Magnetoinduktion weiter verfolgen, werfen wir auf die sonstigen Arbeiten Faradays einen Blick. Ihre ausführlichere Darstellung gehört in die Geschichte der Physik, aber nicht der Experimentierkunst der Physik, sind doch die angewendeten Apparate von derselben Einfachheit, wie die bereits geschilderten, während die Folgerichtigkeit in der Deutung, die Vielseitigkeit in der Prüfung, der Scharfsinn im Auffinden neuer Thatsachen derselbe bleibt.

Zunächst entdeckte Faraday den Extrastrom, die Induktionswirkungen der Teile eines und desselben Stromkreises aufeinander [1]). Sodann wendeten sich seine Untersuchungen mit solchem Erfolge der chemischen Zersetzung von Körpern durch den Strom zu, dass sie den Grund zu einer neuen Wissenschaft, der Elektrochemie, legten, die als Teil der physikalischen Chemie in neuester Zeit die chemischen Anschauungen von der Konstitution der Körper von Grund aus umgeändert hat. Die von ihm benutzten Apparate waren von der verschiedensten Art. Wir beschränken uns auf die Wiedergabe der Formen, die er dem Knallgasvoltameter gab, und können dies um so mehr thun, als viele derselben auch zu anderen Versuchen brauchbar waren.

Aus den Beobachtungen, die Faraday mit dem in Fig. 386 dargestellten, oben luftdicht verschlossenen Apparate machte, erkannte er, dass

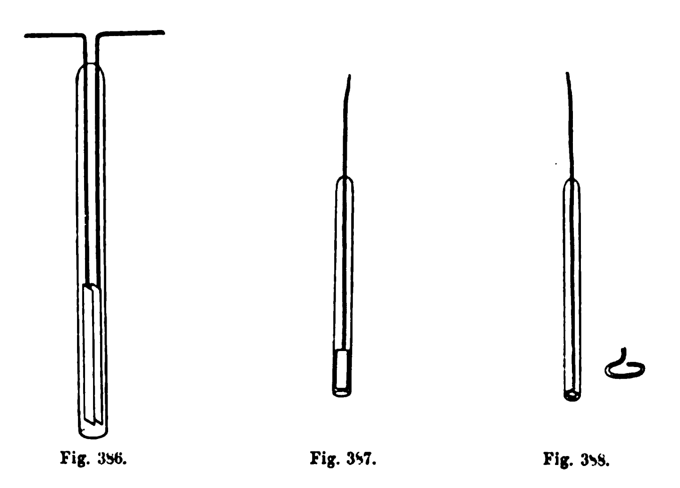
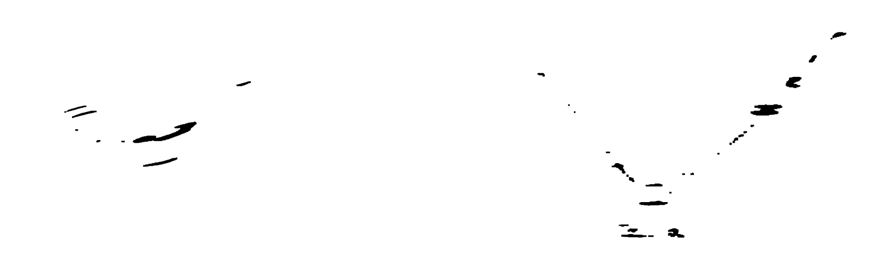


Fig. 386. Fig. 387. Fig. 388.

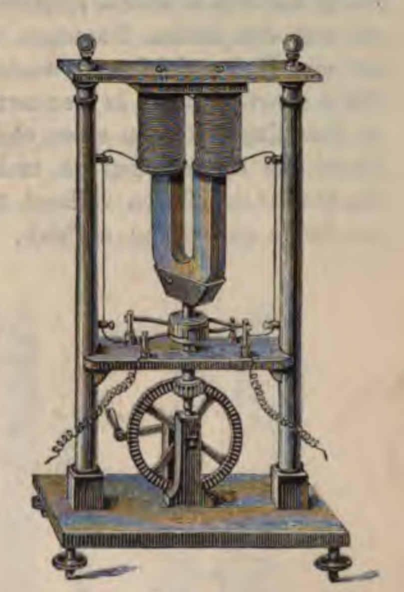
die Anode eine Wiedervereinigung der Gase bewirkte, die Kathode nicht [1]), und daraus ergab sich ihm die Notwendigkeit, die Gase gesondert aufzufangen. Er brachte also [2]) Fig. 387 die plattenförmige oder, Fig. 388, die

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 150.
2) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 188.





den Polen einer Doppelspule mit hufeisenförmigem Eisenkerne drehte sich so ein Magnet, dass bei jeder Umdrehung die Pole beider zweimal vor einander standen. In dem die Enden der Spule schließenden Drahtkreise traten also Wechselströme auf. Bei der in Fig. 394 abgebildeten Maschine war dann unterhalb des Magneten noch ein Kommutator angebracht, der mittels Schleiffedern die der Maschine entnommenen Ströme in Gleichströme umwandelte[1]). Er wurde von Ampère ihr zugefügt, und mit unbedeutenden Änderungen wird diese Maschine auch jetzt noch von Stöhrer hergestellt.


Fig. 394.

1835 ersetzte Pohl[2]) den permanenten Magneten dieser Maschine durch einen Elektromagneten, ohne damit an ihrer Einrichtung wesentliches zu ändern.

Die Maschine Ritchies zeigt Fig. 395 im Durchschnitte. Sie besteht aus dem feststehenden Magneten M und dem aus einer Achse und vier ihr parallelen, im Kreuze stehenden Eisenkernen, die die schraubenförmig aufgewickelten Kupferstreifen $r\,r$ tragen. An die Enden der Streifen sind Drähte gelötet, von denen die von ihrem einen Ende ausgehenden auf den amalgamierten Kupferplatten e und f schleifend aufliegen, während die anderen durch die Achse gehen und ebenso die Platten g und h berühren. Das Spiel der Maschine beschreibt Ritchie[3]) folgendermaßen: »Dreht man die Achse rasch um, so wird jeder Cylinder während seines

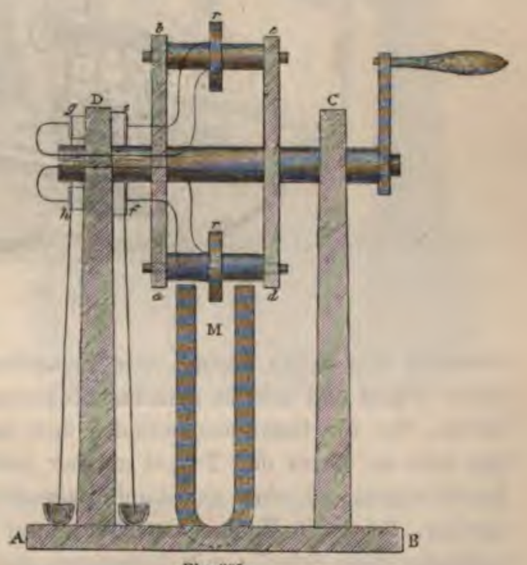


Fig. 395.

1) Annales de Chimie et de Physique. 1833. T. 50. S. 322. Doves Repertorium. I. Taf. 2. Fig. 4. 2) Pohl, Poggendorffs Annalen. 1835. Bd. 34. S. 500.
3) Ritchie, Philosophical Transactions. 1833. II. S. 320. Vgl. Poggendorffs Annalen. 1834. Bd. 32. S. 540.

Vorübergänges neben den Polen des Magneten ein temporärer Magnet und erregt dadurch in seinem Kupferstreifen einen elektrischen Zustand, der durch ein mit den beiden Näpfchen verbundenes Galvanometer oder auch sonst auf eine Weise sichtbar zu machen ist. Nach dem Vorübergange neben den Polen kehrt er rasch in den neutralen Zustand zurück und würde dadurch in dem Kupferstreifen einen elektrischen Zustand hervorbringen, wenn der Draht den Kupferbogen *gh* nicht zur rechten Zeit verließe. Wenn einer der Drähte den Bogen verlässt, tritt gerade ein anderer auf, so dass, wenn ein Strom zu wirken aufhört, gerade ein anderer anfängt. Wir haben

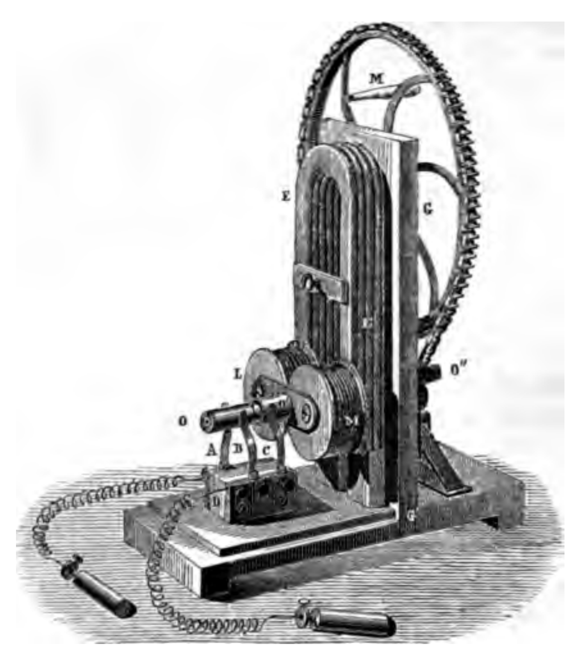


Fig. 396.

demnach eine Reihe Ströme von veränderlicher Natur, die rasch aufeinander folgen und alle in gleicher Richtung wirken. Dadurch entsteht ein Strom, der die Galvanometernadel fast stetig abgelenkt erhält ... Befestigt man an einem der Träger an der Außenseite des zuvor beschriebenen Kupferbogens *gh* eine am Rande sägeartig mit Zähnen besetzte Kupferscheibe, lässt die Enden der Drähte auf diesen Zähnen herumgehen und verbindet diese Scheibe mit derjenigen, auf welcher die anderen Enden der Drähte im Kreise herumgeführt werden, so wird man, auf sehr nahe einem Quadranten, eine rasche Folge magneto-elektrischer Funken erhalten. Stellt man vier Magnete den vier Cylindern von weichem Eisen gegenüber auf, so wird fast der ganze Kreisumfang gleichzeitig erleuchtet und dadurch ein sehr schönes Schauspiel hervorgebracht werden«.

Die Vorteile der Ritchieschen und der Pixiischen Maschine suchte Saxton[1]) und nach ihm und wohl nicht unabhängig von ihm Clarke[2]) in ihren Maschinen zu vereinigen. Beide besaßen einen festen Hufeisenmagnet, den Saxton horizontal, Clarke vertikal angeordnet hatte und vor dessen Polen sich bei Saxton vier, bei Clarke, dessen Maschine Fig. 396 zeigt, zwei Drahtspulen in rascher Drehung herbewegen, in denen so der Strom induziert werden soll. Aber während sich die Spulen bei Saxton über den Magnetpolen vorbeibewegen, rotieren sie bei Clarke vor ihnen.

Während diese Maschinen den Zweck hatten, mechanische Arbeit in Strom zu verwandeln, so verfolgte Dal Negro[3]) bei seiner 1834 konstruierten Maschine den entgegengesetzten Zweck, er suchte mit ihrer Hilfe den elektrischen Strom zu benutzen, um Arbeit zu leisten. Bei dem in Fig. 397 dargestelltem Apparate handelte es sich darum, einen permanenten Magneten dauernd in Schwingungen zu erhalten. Zu diesem Zwecke war der um eine horizontale Achse drehbare permanente Magnet *A* so aufgestellt, dass sein oberes Ende zwischen den Polen des hufeisenförmigen Elektromagneten *E* hin und her pendeln konnte. Dabei drehte *A* mit dem Stäbchen *t*, das in die Gabel *F* eingriff, den Stromwender *C* so hin und her, dass die Ummagnetisierung von *E* die Bewegung des Pendels im Gange hielt. Der in Fig. 398, S. 404, abgebildete Apparat hatte einen horizontal pendelnden Magneten *LM*, der durch den Elektromagneten *E* und den Stromwender *C* in Bewegung gehalten wurde. Er bewegte mittels zweier Hebel, die wie Sperrkegel

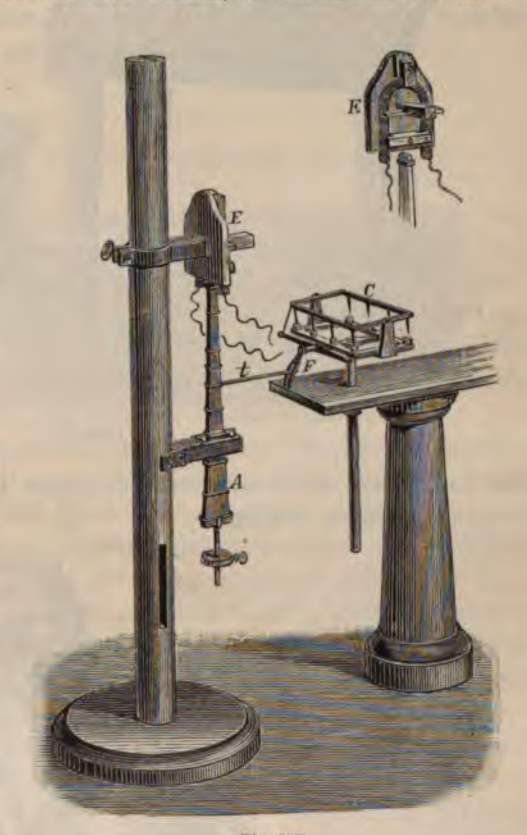


Fig. 397.

1) Saxton, Philosoph. Magazine. No. 5. Vol. 9. S. 360. Poggendorffs Annalen. 1836. Bd. 39. S. 461.

2) Poggendorffs Annalen. 1836. Bd. 39. Taf. IV. Fig. 6.

3) Vorsselmann de Heer, Poggendorffs Annalen. 1839. Bd. 47. S. 46.

in Sperrrädchen griffen, die diese tragende Achse und setzte dadurch eine Reihe *B* von Schwungkugeln an Speichen in rotierende Bewegung.

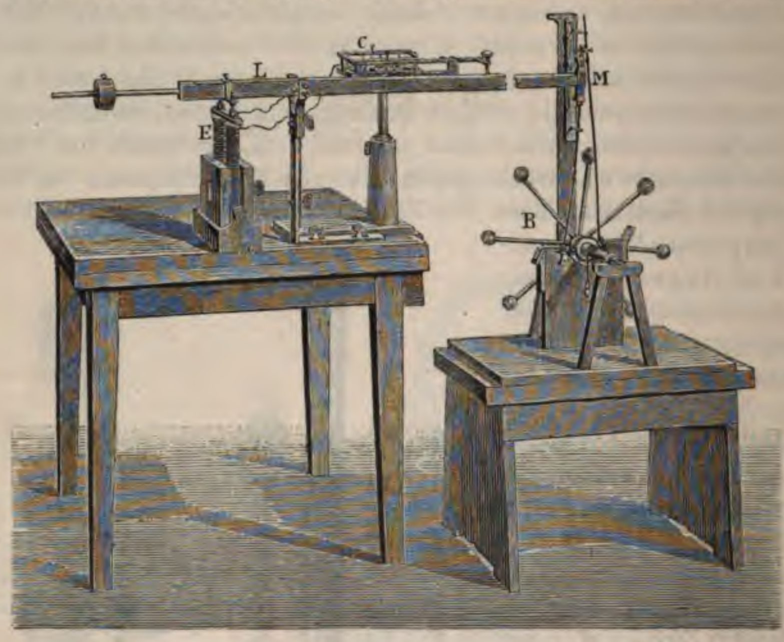


Fig. 398.

So konnte ein an einer um die Achse gewundenen Schnur hängendes Gewicht gehoben werden[1]).

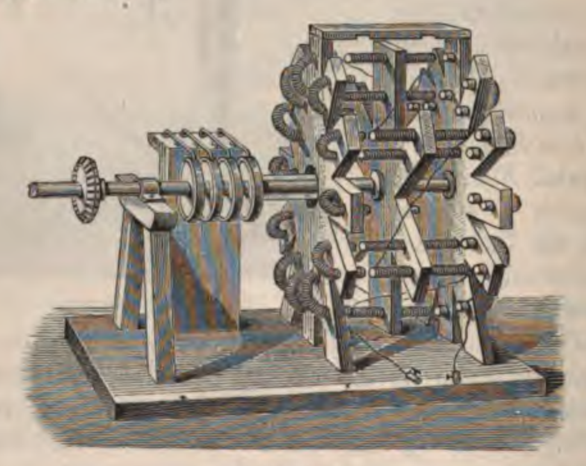


Fig. 399.

Die Apparate Dal Negros sind über den Standpunkt von Spielereien nicht herausgekommen; der erste e[illegible] Motor, der in technische Ver-

1) Albrecht, Gesch[illegible] st, L[illegible] S. 250.

wendung genommen wurde, war der in Fig. 399 dargestellte, mit dem 1838 Jacobi[1]) (1801—1874) ein Boot auf der Newa in Bewegung setzte. Bei ihm kamen nur Elektromagnete zur Anwendung, zweimal zwölf hufeisenförmige, welche in zwei sternförmigen festen Gestellen saßen und zweimal acht ebensolche auf einer um eine Achse drehbaren eisernen achtarmigen Platte befestigte, deren Joch die Platte bildete. Mit dieser Platte drehten sich vier auf der nämlichen Achse sitzende Scheiben, auf deren Rand Schleiffedern lagen, die den Strom einer Batterie um die Elektromagnete leiteten. Sie ermöglichten den Strom so um die sämtlichen Elektromagnete zu schicken, dass die Achse in dauernde Rotation versetzt wurde. Weitere Verwendung hat dieser Motor nicht gefunden.

2. Sömmering und der elektrochemische Telegraph.

Die Fähigkeit der Elektrizität, einen Draht von großer Länge in verschwindend kurzer Zeit zu durchlaufen, musste den Wunsch erregen, sie zur Mitteilung bestimmter Zeichen auf große Entfernungen zu benutzen. Die dabei zu lösende hauptsächliche Schwierigkeit war die Art der Zeichengebung am Empfangsorte und jede Art der Wirkung der bewegten Elektrizität wurde für den in Rede stehenden Zweck mit mehr oder minder Glück in Anwendung gebracht. Abgesehen von den Versuchen, die statische Elektrizität zum Telegraphieren anzuwenden, ist die Wasserzersetzung, die Ablenkung der Magnetnadel und die Magnetisierung eines Eisenkernes durch den Strom zum Zeichengeben benutzt worden.

Die Anwendung der von einer Reibungselektrisiermaschine gelieferten Elektrizität, die man schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts vorschlug und welche 1774 in Genf Lesage (1724—1803), 1816 Ronalds[2]) (1788—1873) zu verwirklichen suchten, gaben keine brauchbaren Resultate. Denn alle Versuche, die zu einer Einführung in die Technik hätten führen können, scheiterten an der Unmöglichkeit einer bei jedem Wetter genügenden Isolierung. Lesage wandte 25 Drähte an, für jeden Buchstaben einen, an deren Ende auf der Empfangsstation an linnenen Fäden Hollundermarkkügelchen hingen, während Ronalds nur eines Drahtes mit den Hollundermarkkügelchen bedurfte, welche durch eine an der Ausgangsstation aufgestellte geladene Leidener Flasche in Abstoßung gehalten wurden, bis der nämliche Buchstabe zweier damit versehener, gleich rasch rotierender Scheiben vor den Fenstern zweier festen Scheiben stand. Indem nun die Flasche in dem Augenblicke entladen wurde, in dem auf beiden Stationen der zu übermittelnde Buchstabe auf der beweglichen durch das Fenster der festen

---

1) Doves Repertorium. 1837. Bd. 1. S. 278.

2) Ronalds, Description of an electric telegraph and of some other electric apparatus. London 1823.

Scheibe gesehen wurde, war das Telegraphieren möglich. Zu der Schwierigkeit, den Draht genügend zu isolieren, kam hier noch die weitere der genauen Regelung der Geschwindigkeit der Scheiben und der verhältnismäßig langen Zeit, die zur Kenntnismachung eines Buchstabens nötig war.

Besser verwendbar war der optische Telegraph Hookes, den 1792 Chappe (1763—1805) brauchbar gemacht hatte und der dieselbe Einrichtung besaß, wie die Apparate dieser Art, welche man heute noch zum Blockieren der Bahnhöfe verwendet. Er setzte seitdem Paris mit den Grenzen Frankreichs nach verschiedenen Richtungen hin in Verbindung und ihm hatte es 1809 Napoleon zu verdanken, dass er die Österreicher, welche ihm den Krieg erklärt hatten, überraschte, während sie noch nicht genügend vorbereitet waren, und so den Krieg von vornherein zu seinen Gunsten wendete. Da München dabei in unliebsame Mitleidenschaft gezogen war, so äußerte am 5. Juli 1809 der bayrische Minister Graf Montgelas dem Professor Sömmering (1755—1830) gegenüber, der sich damals bereits vielfach mit elektrischen Versuchen beschäftigt hatte, den Wunsch, von der Münchener Akademie »Vorschläge zu einem Telegraphen zu erhalten«[1].

Sömmering nahm den Gedanken mit Lebhaftigkeit auf und fasste sofort den Plan, die strömende Elektrizität dazu zu benutzen. Er begann mit Versuchen in dieser Richtung und konnte schon am 8. Juli in seinem Tagebuche bemerken: »Die ersten Versuche gemacht, die Voltasche Säule zu einem Telegraphen zu verwenden, nämlich durch Gasentbindung Buchstaben an entfernten Orten zu bezeichnen. Die Batterie hatte fünfzehn Glieder (Brabanter Thaler, Filz mit gesättigter Kochsalzauflösung befeuchtet und Eisenplatten). Die fünf mit Schellack überzogenen Drähte scheinen

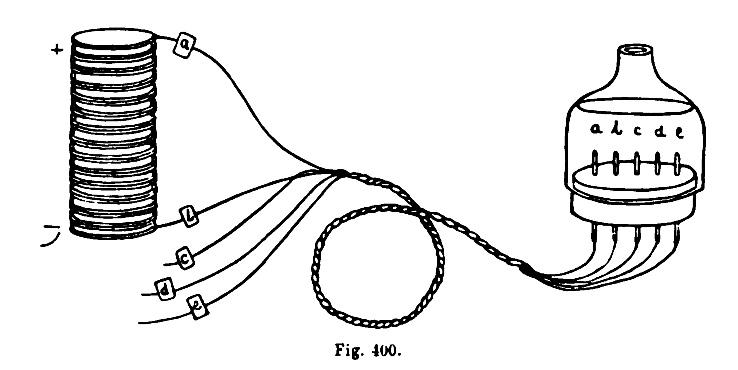


Fig. 400.

sehr gut isoliert zu sein; denn wenn man sie auch zusammendrehte, sprach doch jeder Draht, z. B. hier $+a$ und $-b$ genau an. NB. Hier gab b mehr als a an Gas, folglich kann man zwei Drähte zugleich ansprechen

1) Historische Notizen über Sam. Thom. von Sömmerings Erfindung des ersten galvanisch-elektrischen Telegraphen von Hofrat Dr. W. Sömmering. Jahresbericht des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a/M. 1857/58. S

lassen, der mehr Gas entwickelnde Hydrogendraht $-b$ zeigt den ersten, der Oxygendraht $+a$ den folgenden Buchstaben an« (vgl. Fig. 400). Nachdem er sich so von der Ausführbarkeit seiner Idee überzeugt hatte, ließ er von dem Mechaniker Settele in München die nötigen Apparate verfertigen und konnte bereits am 28. August der Münchener Akademie der Wissenschaften seinen Telegraphen vorzeigen, den Fig. 401 wiedergiebt[1]).

Er bestand aus der Voltaschen Säule A, dem Zeichengeber B, dem Zeichenempfänger C und dem Wecker D. Vom Zeichengeber und -empfänger sind einzelne Teile in Ansicht und Grundriss vergrößert dargestellt

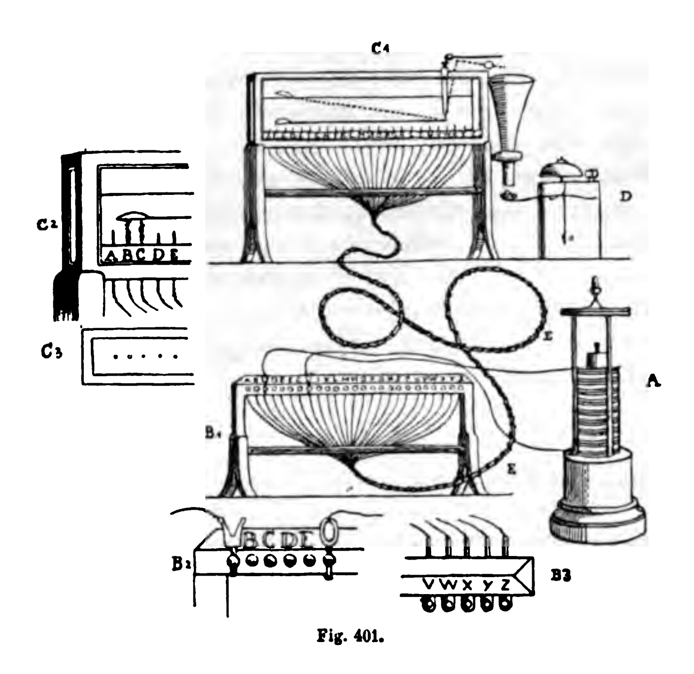


Fig. 401.

($B_2 B_3$ und $C_2 C_3$). Von den 24 Ösen (B_2 und B_3) führen Drähte zu dem in C_1 sichtbaren Goldstiften, welche durch den Korkboden des parallelepipedischen Glastroges gesteckt worden sind, die Drähte sind aber zu einem Kabel EE_1 zusammengedreht worden. Jede Öse und der zugehörige Stift sind mit einem und demselben Buchstaben bezeichnet. Die Poldrähte der Batterie endigen in zwei Zäpfchen, die in die Löcher der Ösen gesteckt werden, wie aus B_2 ersichtlich ist. Es tritt dann an den zugehörigen Buchstaben in C_1 Wasserstoff und Sauerstoff auf und von den zwei so telegraphierten Buchstaben geht der, an dem der Wasserstoff auftritt, voran.

Der Wecker besteht aus einer gewöhnlichen Weckuhr, die in Thätigkeit gesetzt wird, wenn durch den an der Seite von C_1 angebrachten

1) Denkschriften der königlichen Akademie der Wissenschaften zu München 1809 und 1810. S. 401.

Glastrichter ein Metallkügelchen auf den Ausrückhebel fällt. Das Kügelchen ist auf den kurzen Arm eines zweimal rechtwinkelig gebogenen Hebels gesteckt, dessen längerer Arm in einem in die Flüssigkeit getauchten, nach oben konvexen Löffel endigt. Wird unter diesem Gas entwickelt, so hebt es den Arm mit dem Löffel in die Höhe, der mit der Kugel sinkt herab, diese gleitet ab und rückt den Wecker aus. Das Kabel bestand aus Kupferdrähten, die mit Kautschuk, der in Naphtha aufgelöst worden war, bestrichen und dann mit Seide umwickelt waren. Nach ihrem Zusammendrehen wurden sie dann nochmals mit einem Firniss überzogen, der sie vor schädlichen äußeren Einflüssen schützte.

Sömmerings Telegraph wurde im Jahre 1809 in Paris dem Kaiser Napoleon vorgelegt, der ihn aber mit den Worten ablehnte: »c'est une idée germanique«. Die Legung und Sicherung des Kabels soll er für unmöglich gehalten und deshalb dem Plane einer praktischen Einführung nicht zugestimmt haben. Es fehlte damals allerdings noch die Möglichkeit, mit demselben Apparat auch rückwärts zu telegraphieren, eine Verbesserung, die Sömmering erst 1811 einführte, auch den Wecker hat er erst in diesem Jahre zugefügt. Ebenso traf er damals die Änderung, dass er nur den negativen Pol zum Telegraphieren benutzte, den positiven Poldraht aber dauernd fixierte, da auf diese Weise das Telegraphieren rascher und sicherer von statten ging.

3. Gauß, Weber und Steinheil. Das Magnetometer als Telegraph.

Die Ablenkung eines Magneten ist auf zweierlei Weise zum Telegraphieren benutzt worden, entweder indem man einen schweren an einem Seidenfaden oder dünnem Messingdraht hängenden Magnetstab durch einen ihn in einer Drahtspirale umkreisenden Strom ganz wenig ablenkte und die Ablenkung mit Spiegel und Fernrohr beobachtete, oder indem man die Ablenkung der Galvanometernadel benutzte.

Den ersten Weg schlugen Gauß (1777—1855) und Weber im Jahre 1833 ein, da ihnen das von dem ersteren konstruierte Magnetometer zur Verfügung stand. Solche Magnetometer waren auf eine Anregung Alexander von Humboldts hin an verschiedenen Orten Deutschlands aufgestellt, um die Konstanten des Erdmagnetismus zu erhalten. Die älteste Form des Magnetometers zeigt Fig. 402. Der Magnetstab, der links sichtbar ist, ist nur zur Hälfte gezeichnet. Er trägt an seinem dem Fernrohr F zugewandten Stirnende einen Spiegel a, der genau senkrecht zu ihm gestellt werden kann. Unterhalb des Fernrohres, dem Spiegel gegenüber, ist die Skala SS so aufgestellt, dass ihr Spiegelbild im Fernrohr erscheint. Diese Art der Ablesung, die Poggendorff kurz vorher angegeben hatte und die auch jetzt noch sehr häufig angewendet wird, ermöglicht bekanntlich Abweichungen des Magneten aus seiner Ruhelage, wenn sie auch nur wenige

Sekunden betragen, zu messen. Bei solcher Empfindlichkeit musste jede Störung durch Luftströmungen ausgeschlossen werden; deshalb schloss Gauß den Apparat in ein Holzgehäuse ein, welches nur durch eine Öffnung

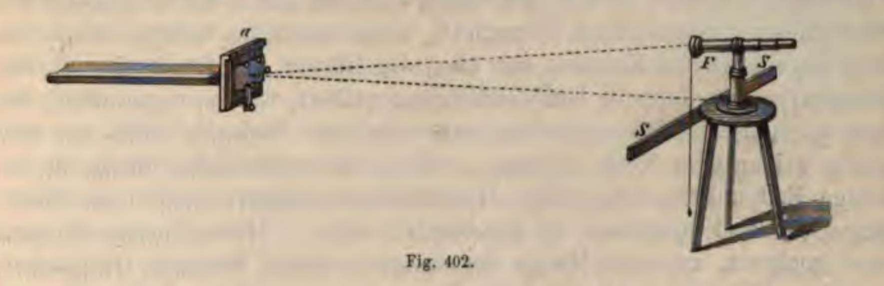


Fig. 402.

den Spiegel sehen ließ, und umgab die Pole überdies der besseren Dämpfung wegen mit Stücken dicker Kupferstäbe. Da es sich aber als Übelstand ergab, dass bei einer etwas stärkeren Schwankung des Magneten der Spiegel aus der Gesichtslinie des Fernrohres heraustrat, so befestigte Gauß

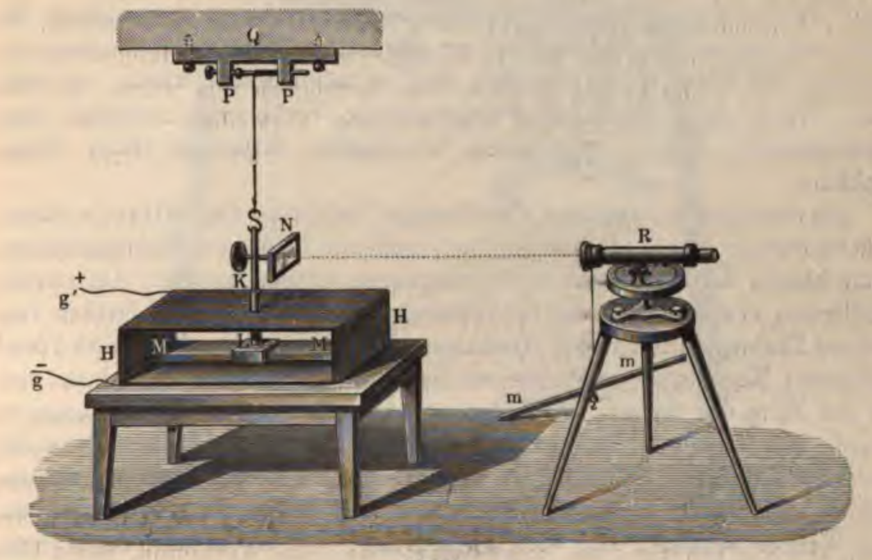


Fig. 403.

ihn später an einem Stab, der zwischen dem Magneten und dem Aufhängefaden oder -Draht, wie dies Fig. 403 zeigt, angebracht wurde, erreichte auch eine bessere Dämpfung, indem er den Magneten bifilar aufhängte.

Zum Zwecke der Beantwortung einiger sich bei diesen Messungen ergebender Fragen hatte Weber (1804—1891) zwei Drähte von dem physikalischen, $\frac{1}{4}$ Stunde von der Sternwarte entferntem Kabinet bis zur Stern-

warte über die Häuser der Stadt gezogen und diese ermöglichten eine telegraphische Verständigung, indem nun (Fig. 403, S. 409) der Magnet *MM* in eine genügend große, einen Rahmen bildende Drahtspirale gehängt wurde. »Professor Weber«, so schildert Gauß 1834 die behufs der telegraphischen Verständigung angestellten Versuche[1], »hat bereits im vorigen Jahre von dem physikalischen Kabinett aus über die Häuser der Stadt hin bis zur Sternwarte eine doppelte Drahtverbindung geführt, welche gegenwärtig bis zum magnetischen Observatorium fortgesetzt ist. Dadurch bildet sie eine große galvanische Kette (Leitung), worin der galvanische Strom die an beiden Endpunkten befindlichen Multiplikatoren mitgerechnet, eine Drahtlänge von fast 9000 Fuß zu durchlaufen hat... Diese Anlage ist ganz dazu geeignet, zu einer Menge der interessantesten Versuche Gelegenheit zu geben. Man bemerkt nicht ohne Bewunderung, wie ein einziges Plattenpaar am anderen Ende hineingebracht, augenblicklich dem Magnetstabe eine Bewegung erteilt, die zu einem Ausschlage von weit über tausend Skalenteilen ansteigt... Die Leichtigkeit und Sicherheit, womit man durch den Kommutator die Richtung des Stromes und die davon abhängige Bewegung der Nadel beherrscht, hatte schon im vorigen Jahre Versuche einer Anwendung zu telegraphischen Signalisierungen veranlasst, die auch mit ganzen Wörtern und kleinen Phrasen auf das vollkommenste gelangen. Es leidet keinen Zweifel, dass es möglich sein würde, auf ähnliche Weise eine unmittelbare telegraphische Verbindung zwischen einer beträchtlichen Anzahl von Meilen voneinander entfernten Orten einzurichten«.

Als Stromquelle benutzten die Göttinger Gelehrten die Voltasche Säule, Thermoströme oder Induktionsströme, auch mit Hilfe von Reibungselektrizität konnte der Magnetstab in Schwingungen versetzt werden. Am zweckmäßigsten erwiesen sich die Induktionsströme. Eine mit Handgriffen versehene Drahtspule mit vielen Windungen konnte über einen etwa 25 Pfund schweren Magnetstab geschoben werden. Für gewöhnlich befand sie sich in der Mitte des Stabes. Hob man sie nun oder senkte sie ein wenig, so wurde der Magnet im Magnetometer ein wenig nach rechts oder links abgelenkt und diese Ablenkungen einzeln oder in Kombination zu zweien, dreien oder vieren ließen alle Buchstaben und Zahlzeichen telegraphieren. Als Wecker benutzten sie, wie Sömmering, eine Weckeruhr, deren Hemmung ausgelöst wurde, wenn der zu Anfang recht stark abgelenkte Magnetstab gegen einen Hebel stieß. So war der Apparat von Gauß und Weber der erste elektromagnetische Telegraph und zugleich derjenige, der zu wirklicher telegraphischer Verständigung benutzt worden ist, und der in der Technik verwendete Telegraph ist somit eine Erfindung von Gauß und Weber.

---

1) Gauß, Göttinger gelehrte Anzeigen. 1834. S. [illegible] [illegible]orffs Annalen. 1834. Bd. 32. S. 568. Schumacher, Astronomisches

Indem er aber zunächst nicht für eine derartigen Gebrauch konstruiert war, bot er für solchen Zweck manche Unbequemlichkeit. Dass diese indessen würden gehoben werden können, erkannte Gauß sehr wohl. Er forderte deshalb einen damals bei ihm seiner Studien wegen sich aufhaltenden jungen Münchener C. A. von Steinheil (1801—1870) auf, die nötigen Änderungen anzubringen, da ihm selbst die Zeit hierzu fehlte, und hätte in der Auswahl dieses Gehilfen nicht glücklicher sein können. Unterzog sich doch Steinheil der ihm gewordenen Aufgabe mit ebensoviel Geschick und Eifer, wie mit Glück, und es lag nur an den für die Förderung solcher Arbeiten überaus ungünstigen politischen Verhältnissen Deutschlands, dass nicht Steinheils Telegraph, sondern von Engländern eingeführte Apparate zuerst auch in unserem Vaterlande zu allgemeiner Verwendung kamen.

Fig. 404 zeigt seinen Apparat im Aufriss, Fig. 405, S. 412, im Grundriss, wie er bereits 1836 von ihm angegeben wurde[1]). Ein aus 17 hufeisenförmigen

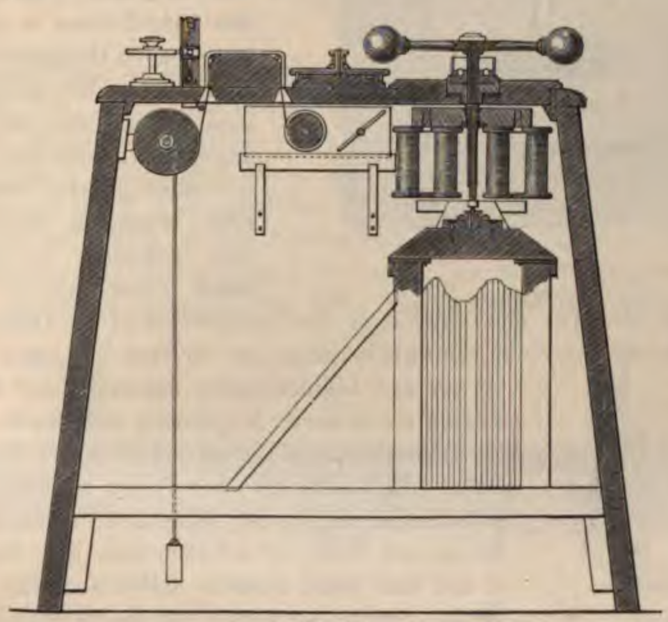


Fig. 404.

Stahlmagneten gebildetes magnetisches Magazin dient zur Hervorbringung der Induktionsströme. Ein zwischen seinen Polschuhen befindliches Messingstück trägt das Lager einer Achse, welche durch zwei Schwungkugeln in plötzliche rasche Bewegung gesetzt werden kann. Dadurch nähern sich

1) C. A. Steinheil, Über Telegraphie, insbesondere durch galvanische Kräfte. Eine öffentliche Vorlesung gehalten in der Kön. Bayr. Akademie der Wissenschaften am 25. August 1838. München 1838.

die mit ihr in Verbindung stehenden Induktionsrollen mit weichen Eisenkernen den Magneten des Magazins oder entfernen sich von ihnen und so werden in ihnen Ströme erregt, deren Richtung je nach der Drehungsrichtung der Achse mit den Induktionsrollen verschieden ist. Die Enden der Drähte der Induktionsrollen gehen isoliert unter die Schwungkugeln und endigen dort in den nach unten hakenförmig gebogenen Stahldrähten, die über der in Fig. 406 dargestellten Quecksilberrinne sich bewegen. Doch befinden sie sich in solchem Abstande von der Achse, dass sie nur in den Einschnitten a und b der isolierenden Holzbrücke cd mit dem Quecksilber in Berührung kommen können, und sind so angebracht, dass dann die entwickelten Induktionsströme auf dem Maximum ihrer Stärke sich befinden; in jeder anderen Lage sind sie isoliert.

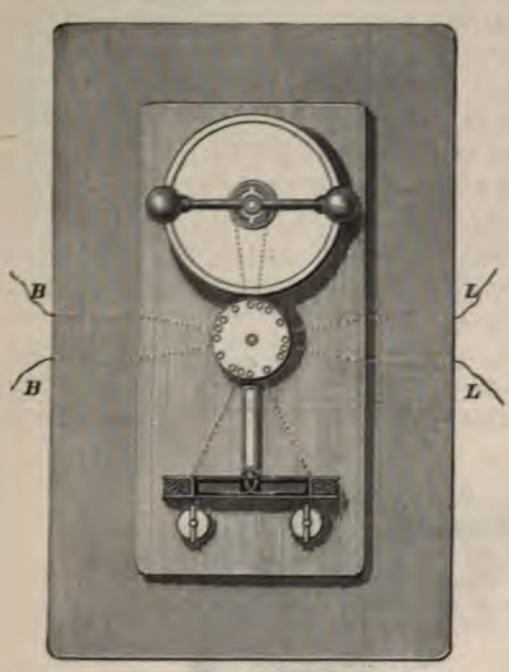


Fig. 405.

Damit nun aber für den Fall, dass der Induktor nicht in Thätigkeit ist, ein Strom von der einen Quecksilberrinne zur anderen gelangen kann, so ist an der Induktorachse unterhalb der Schwungkugeln ein isolierter Kupferring angebracht, welcher ebenfalls zwei nach unten gebogene Stahldrähte trägt, die aber mit den eben erwähnten einen Winkelabstand von 90° bilden. Tauchen also diese bei a und b ein, so befinden sich jene über c und d und sind somit isoliert. Giebt aber der Induktor keinen Strom, so setzen sie die Quecksilberrinnen in leitende Verbindung.



Fig. 406.

Den Empfänger zeigt Fig. 407 von der Seite des Telegraphentisches her, Fig. 408 in seiner Mitte durchschnitten von oben; Fig. 408 giebt somit dasselbe Bild von ihm, wie Fig. 405, nur vergrößert. Er besteht aus dem Multiplikatordraht MM, der um einen rechteckigen Messingrahmen gewunden ist und aus zwei um je eine in ihrem Mittelpunkt befindliche Achse drehbaren Stabmagneten NS, [illegible] en Pole gleichgerichtet sind. Je zwei an dem Messingrahmen befe[illegible] [illegible]mungen verhindern, dass der an ihm liegende Pol sich nach a[illegible] [illegible]k

leren Pole tragen an gebogenen Eisenarmen Messinggefäße, welche unten ein kleines schnabelförmiges Röhrchen mit ganz enger Öffnung haben.

»Wenn Ölfarbe in die Gefäße kommt«, so schildert Steinheil[1]) die Wirkungsweise des Zeichengebers, »zieht sie sich vermöge der Kapillarattraktion durch die Bohrung der Schnäbel und bildet an ihren Öffnungen,

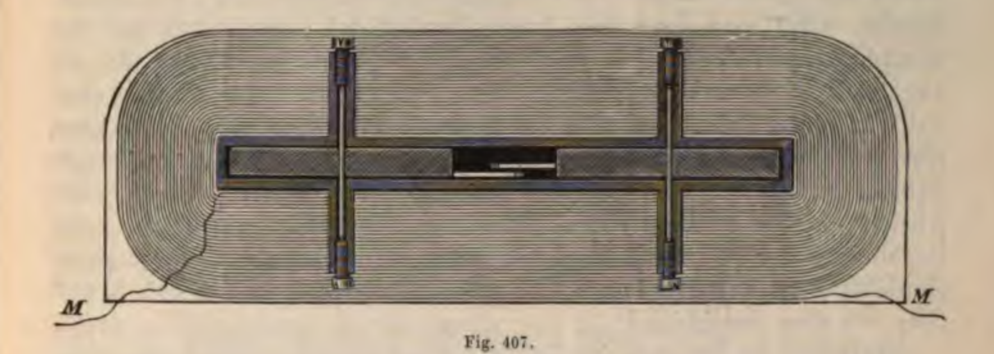


Fig. 407.

ohne auszufließen, halbkugelförmige Erhöhungen. Die leiseste Berührung reicht also hin, einen schwarzen Punkt zu fixieren. Wird der Multiplikatordraht dieses Zeichengebers galvanisch erregt, so streben beide Magnetstäbchen sich in demselben Sinne um ihre Vertikalachse zu drehen. Es würde also eines der Farbgefäßchen aus dem Multiplikatorrahmen hervortreten, das andere in diesen hineingehen. Um letzteres zu vermeiden, sieht man in dem Spielraum zur Schwingung der Magnetstäbe zwei Platten einander gegenüber befestigt (Fig. 408), gegen welche die anderen Enden



Fig. 408.

der Magnetstäbe andrücken. Es kann also immer nur eines der Gefäße aus dem Multiplikator heraustreten, während das andere in Ruhe bleibt. Um die Magnetstäbchen nach vollbrachter Ablenkung rasch wieder in die ursprüngliche Lage zurückzubringen, dienen gesonderte kleine Magnete, deren Abstand und Lage so reguliert wird, bis dieser Zweck erreicht ist. Diese Stellung muss durch Versuche ermittelt werden, weil sie bedingt ist von der Intensität des erregten Stromes«.

1) Steinheil, a. a. O. S. 27.

»Sollte dieser Apparat dienen, um durch Anschlagen an Glocken zweierlei leicht zu unterscheidende hörbare Töne zu geben, so wird man Uhrglocken oder auch Glasglocken zu wählen haben, die leicht ansprechen und etwa um die Sexte im Tone verschieden sind... Sollen die Zeichengeber schreiben, so muss sich eine Papierfläche vor den Schnäbeln derselben mit gleichförmiger Geschwindigkeit vorüberbewegen. Am schicklichsten wählt man dazu sehr lange Streifen des sogenannten endlosen Maschinenpapieres, welches man auf ein Holz aufwindet und auf der Drehbank in schmale Streifen absticht. Ein solcher Papierstreifen muss sich von einem Cylinder abwickeln, an den Gefäßchen vorübergehen, dann eine Strecke horizontal fortgeführt sein, um die aufgetragenen Punkte sichtbar zu machen und endlich wieder auf einen zweiten Cylinder aufwinden. Dieser zweite Cylinder wird von einem Uhrwerk gedreht, die Regulierung der Bewegung geschieht durch ein Fugalpendel. Diese ganze Einrichtung ist aus Fig. 404, S. 411, im Längenschnitt, in Fig. 405, S. 412, aber von oben ersichtlich.«

Steinheil ist demnach der Erfinder des Farbschreibers; seine Elementarzeichen waren der Punkt links und der Punkt rechts, aus denen er das Alphabet zusammensetzte und dabei den Vorteil hatte, für jeden Buchstaben ein leicht einzuprägendes Bild zu erhalten. Er stellte nun Versuche im großen an zwischen drei Stationen, Münchener Akademie, Sternwarte in Bogenhausen und einer Straße Münchens, wobei ein Leitungsdraht von mehr als 10 Kilometer zur Hin- und Rückleitung verwendet wurde. Die Art, wie er die dazu nötigen Schaltungen erreichte, beschreibt[1] er folgendermaßen:

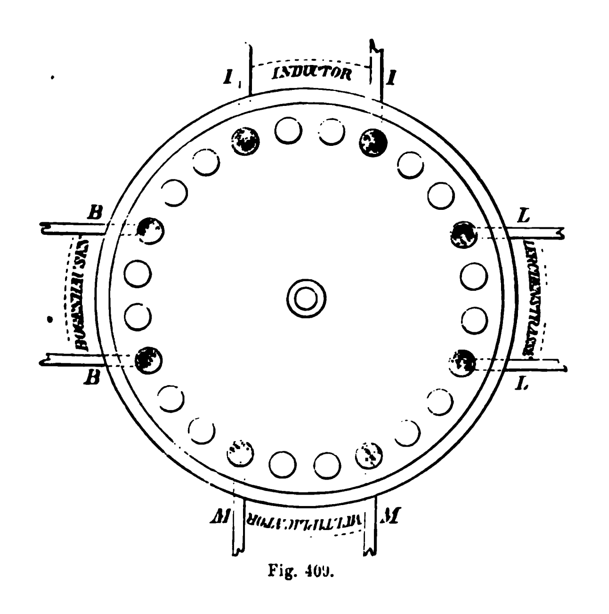
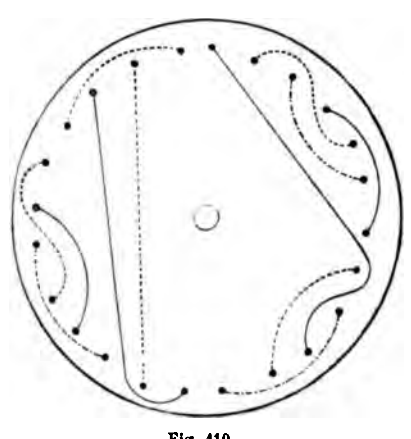


Fig. 409.

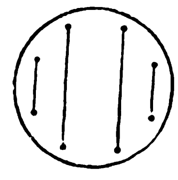
»Die Drahtleitung von Bogenhausen, die von der Lerchenstraße (jetzt Schwanthalerstraße), die Enden des Zeichengebers und zwei Leitungen aus den Quecksilbergefäßen des Induktors, also eigentlich die Enden seines Multiplikators, kommen in der Mitte des Tisches, wie Fig. 405, S. 412, zeigt, zusammen. Hier führen sie in acht mit Quecksilber gefüllte Löcher, die in einem

1) Steinheil, a. a. O. S. !

Holzcylinder angebracht sind (Fig. 409). Von der Verbindung dieser acht Enden untereinander hängt es nun ab, wohin der erregte Strom geleitet wird. Wären z. B. diese acht Löcher durch vier Klammern von Kupferdraht verbunden, wie es Fig. 409 zeigt, so ginge der erregte Strom durch sämtliche Apparate und Ketten. Eine Verbindung, wie in Fig. 410 aber würde die Kette von Bogenhausen ausschließen und also bewirken, dass der Strom vom Induktor aus durch den Multiplikator und die Lerchenstraße ginge. Eben diese Figur um 180° gedreht, bewirkte das Ausschließen der Lerchenstraße und führte den Strom nach Bogenhausen. Ein drittes System von Verbindungen ist durch die Kupferklammern von Fig. 411 gegeben. In der Lage der Zeichnung wären der Induktor und Multiplikator verbunden, dagegen die Lerchenstraße und Bogenhausen ausgesperrt. Diese Fig. 411 aber um 90 Grade gedreht, verbände Bogenhausen und die Lerchenstraße, so dass diese beiden Stationen miteinander kommunizieren können, ohne dass man auf der Akademie die Nachricht empfängt.


Fig. 410.

Diese dreierlei Systeme und Verbindungen sind nun in einem hölzernen Deckel mit Kupferdraht eingetragen, Fig. 410. Aus diesem stehen also 24 Drahtenden hervor. Es sollen aber immer nur acht davon wirksam sein, deshalb werden in den Cylinder, der die Quecksilbergefäße enthält, noch sechzehn Löcher angebracht, in denen kein Quecksilber ist und die bestimmt sind zur Aufnahme derjenigen Drahtenden, die gerade nicht in Wirksamkeit sein sollen. So entsteht die Möglichkeit, den Strom in jeder Richtung zu leiten, und es sind die betreffenden Verbindungen auf der Außenseite des Deckels, Fig. 410, der die verschiedenen Verbindungssysteme enthält durch beigeschriebene Buchstaben bezeichnet. Durch Versetzung dieses Deckels gegen den auf dem Tische befindlichen Pfeil kann also über die Richtung des Stromes beliebig disponiert werden. Natürlich ließen sich statt Quecksilbernäpfchen auch hier konisch gebohrte Kupferstifte anbringen, was auch auf den Stationen Bogenhausen und Lerchenstraße geschehen ist«. Auch die Quecksilberrinne, Fig. 406, S. 412, ersetzte Steinheil später durch Kupferringe mit Schleiffedern.


Fig. 411.

Die Leitungsdrähte wurden in der Stadt an Türmen, und auf den Strecken, wo sich keine Häuser befanden, an 40 bis 50 Fuß hohen Fichtenstämmen mittels Querhölzern befestigt. Sie wurden auf Filzunter-

lagen, die um diese Hölzer gelegt waren, aufgewickelt. Die Stämme trugen die Hin- und Rückleitung; denn dass die letztere entbehrlich sei, daran konnte man damals noch nicht denken. Als man dann aber daran ging, die Telegraphendrähte längs der Eisenbahnen zu ziehen, lag es nahe, die Schienen wenigstens als Rückleitung zu benutzen. Das hatten Gauß und Weber bereits vorgeschlagen, als ihr Telegraph bei der Leipzig-Dresdener Eisenbahn zur Ausführung gelangen sollte, man hatte aber davon absehen müssen, da man so nicht im stande war, die Zuleitungen zu isolieren. Doch nahm Steinheil diesen Gedanken auf und prüfte seine Durchführbarkeit mit Versuchen, die er an den Schienen der Nürnberg-Fürther Bahn anstellte. Dabei beobachtete er eines Tages, dass der Strom von einem Schienenstrange zu dem anderen durch die Erde hindurchging und machte so die überaus wichtige Entdeckung, dass man die Erde als Rückleitung benutzen könne, die dazu noch einen viel kleineren Widerstand lieferte wie die Drahtleitung. Er benutzte dieses sogleich mit gutem Erfolge bei seinem Telegraphen, indem er den Draht, in den Induktor und Empfänger eingeschaltet waren, an Kupferbleche von 61 Quadratfuß Oberfläche befestigte und diese in die Erde versenkte.

4. Schilling von Canstadt, Cooke und Wheatstone, und der Nadeltelegraph.

Die Art des Telegraphen, welche Gauß und Weber ihre Entstehung, Steinheil ihre Weiterentwickelung verdankte, kam über diese nicht weiter hinaus. Zwar wurden einzelne seiner Merkmale, der eine Draht, die Stromrückleitung durch die Erde und die Farbennäpfchen, der Umschalter später weiter verwendet, der Apparat selbst kam bald in Vergessenheit. Dagegen traten andere Bestrebungen auf, die die Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom benutzten, eine Wirkung, die sich wegen ihrer Einfachheit zum telegraphieren ganz besonders zu eignen schien. Zwar konnte Ampères Idee, ebensowenig wie die Sömmerings, der 25 Drähte wegen, welche er anwendete, um ebensoviel Nadeln ausschlagen zu lassen und so die einzelnen Buchstaben zu bezeichnen, keine Anwendung in der Technik finden, um so weniger, als sie an Durchbildung hinter der Sömmerings zurückblieb, aber der Weg, auf dem diesem Übelstande abzuhelfen war, war ja gewiesen, es war Schilling von Canstadt (1786—1837), der ihn betrat, und im Jahre 1835 der Naturforscherversammlung in Bonn einen Telegraphen vorlegte, welcher sich recht wohl zu allgemeiner Einführung geeignet hätte, bei dem gering[illegible] [illegible]nis aber, welches die damalige Zeit diesen Fragen noch [illegible] [illegible]r als interessante Neuigkeit aufgen[illegible] [illegible]urde.

Schilling hatte, als [illegible] [illegible]e Zeit in München an[illegible]

Versuche mit Interesse verfolgt. Er nahm, als er nach Petersburg zurückkehrte, einen unter Sömmerings Leitung verfertigten Telegraphen mit, beschäftigte sich aber selbständig und mit bestem Erfolge mit ähnlichen Versuchen. So gelang es ihm, mittels eines durch die Newa gelegten isolierten Drahtes auf dem gegenüber liegenden Ufer des Flusses eine Mine zu entzünden, es gelang ihm ferner, einen in allen Einzelnheiten wohl ausgebildeten Telegraphen herzustellen.

Fig. 412 stellt seinen Empfänger im Durchschnitte und im Grundrisse dar[1]). Er ist nichts anderes, wie ein Multiplikator mit astatischem Nadelpaare, das zur Dämpfung seiner Schwingungen unten ein in ein Gefäß mit Flüssigkeit tauchendes Scheibchen trägt. An dem Aufhängefaden der

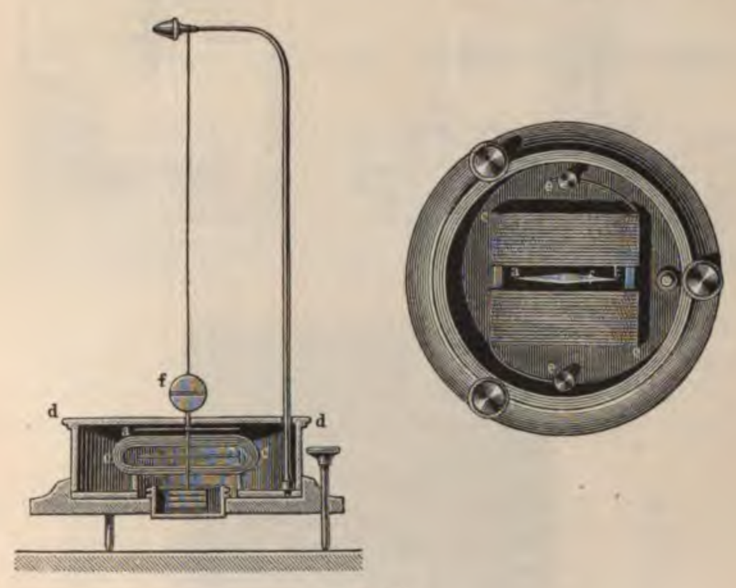


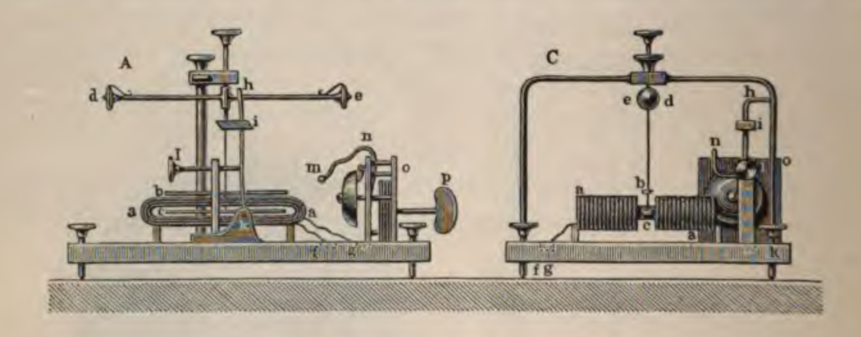
Fig. 412.

Nadel wird das Papierstück f befestigt und durch Reibung festgehalten, welches auf der einen Seite mit einem horizontalen, auf der anderen mit einem vertikalen Strich versehen ist. Der Beobachtende stellt es sich so, dass er gegen seine scharfe Kante sieht und bei Ablenkungen der Nadel in verschiedenem Sinne einen der beiden Striche erblickt. Doch wollte Schilling sie nicht als Elementarzeichen benutzen, vielmehr sollten bei der zwischen Kronstadt und Peterhof geplanten Ausführung im großen, die leider durch seinen Tod vereitelt wurde, fünf Nadeln aufgestellt werden, welche auf

Hamel, Bulletin de l'Académie impériale des Sciences de St. Petersburg 1860. S. 102. Muncke, Gehlers physikalisches Wörterbuch. Bd. 9. S. 112 ff. n Hofmanns Bericht u. s. w. S. 111 ff.

beiden Seiten der Papierscheibchen die Ziffern von 0 bis 9 trugen. Diese sollten nach dem dekadischen Systeme zusammengestellt und aus ihnen die Wörter gebildet werden. Ein unter dem Ende b der unteren Nadel befindliches Stiftchen verhinderte sie zu weit auszuschlagen.

Den Wecker zeigt Fig. 413 in der Vorder- und Seitenansicht und im Grundrisse. Auch er besteht aus einem Multiplikator a und dem astatischen Nadelpaare b, c, dessen Achse ein mit Gewichtchen d und e an beiden Enden beschwerten Metallstäbchen trägt. Wird die Nadel durch den Strom abgelenkt, so schlägt das Gewicht gegen den mittels des Stellschräubchens l fast labil aufgestellten Stab kh, wirft ihn um und dadurch



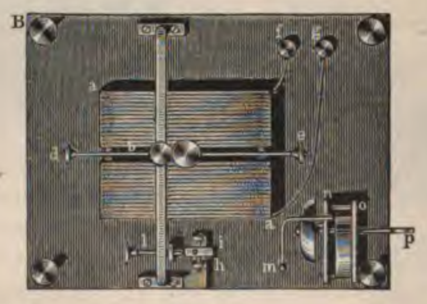


Fig. 413.

das an ihm befestigte Gewichtchen i auf den Ausrückhebel der Weckeruhr, die so zum Tönen gebracht wird und den dienstthuenden Beamten herbeiruft. Fig. 414 stellt sodann die Batterie, Fig. 415 einen Stromsender dar. Jene besteht aus einer Kupferplatte w und einer Zinkplatte v, zwischen denen ein mit verdünnter Schwefelsäure getränkter Tuchlappen eingeklemmt ist; die beiden Stützen z pressen die Platten, die in Nuten des Brettes xy stehen, gegen ihn. Durch Drähte ste[illegible] Platten mit zwei Quecksilbernäpfchen in Verbindung, die durch [illegible] tromsenders an zwei andere angeschlossen wer[illegible]
tungsdrähte tauchen. Zwei Sende[illegible]
bildete mit diagonalen Drähten, d[illegible]

und ein anderer, bei dem r und s, t und u in Verbindung gesetzt worden sind. Je nachdem man den einen oder anderen von ihnen nimmt, kann

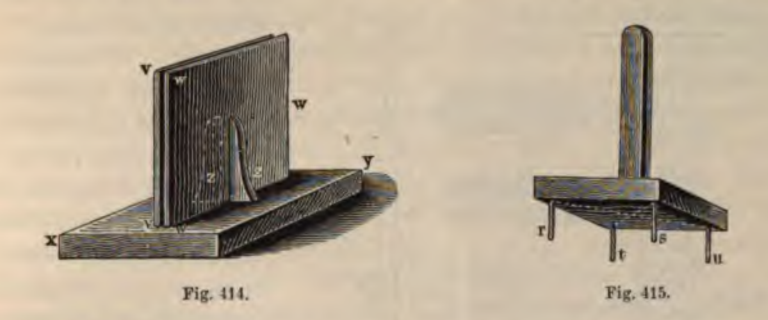


Fig. 414. Fig. 415.

der Strom in der einen oder anderen Richtung um den Empfänger geschickt werden.

Auch der Schillingsche Telegraph wäre, wie der Steinheilsche, bald der Vergessenheit anheim gefallen, wenn nicht der Professor Muncke aus Heidelberg, der ihn in Bonn gesehen hatte, sich von Albert in Frankfurt ein allerdings nur rohes Modell von ihm hätte herstellen lassen und es alljährlich in seinem Kolleg vorgezeigt hätte. Dort sah es zufällig ein junger Engländer, Cooke, der sich in Heidelberg behufs Anfertigung von anatomischen Wachspräparaten aufhielt, und erkannte sofort die ungeheuere Bedeutung, die der kleine Apparat gewinnen konnte. Er ließ sich teils in Heidelberg, teils in Frankfurt einen Telegraphen mit drei Nadeln und Wecker bauen und brachte ihn 1836 nach London. Fig. 416 und

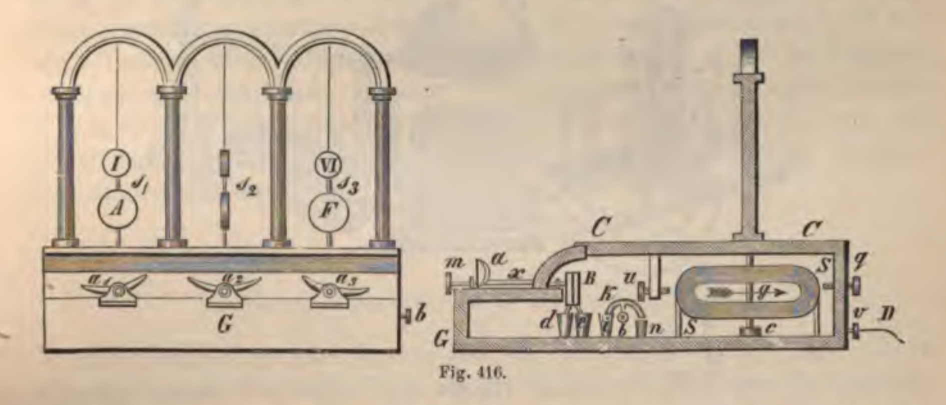


Fig. 416.

Fig. 417, S. 420, zeigen seinen Telegraphenapparat im Aufrisse, Durchschnitte und Grundrisse. Man sieht, es ist der Apparat von Schilling mit einigen Veränderungen, die sich namentlich auf die Schaltung erstrecken.

Noch nicht zufrieden mit den Wirkungen seines Apparates verband sich e behufs seiner Vervollkommnung mit dem Professor am Kings Col- atstone (1802—75), und schon am 12. Juli 1837 konnten beide

ein Patent auf mehrere neue Telegraphenapparate nehmen, die, nach demselben Plane gebaut, sich nur durch die Anzahl der Nadeln unterschieden, von denen der eine vier, der andere fünf besaß.

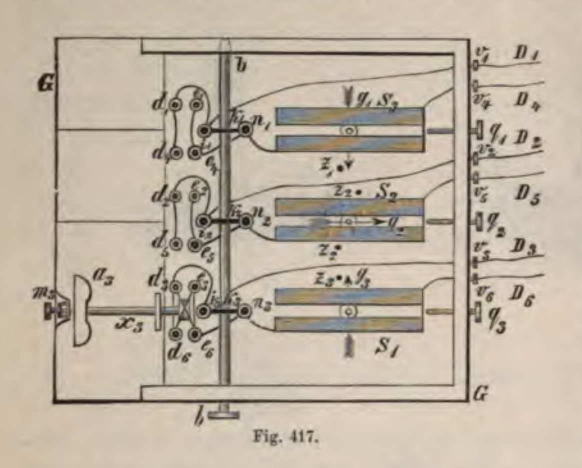


Fig. 417.

Der Viernadeltelegraph war eigentlich der Cookesche mit drei Nadeln, dem aber eine vierte Nadel beigegeben war, die behufs Bethätigung eines Weckers eine Lokalbatterie durch Ablenkung einer Nadel schloss. Dieser Apparat war somit das Relais, das später in der Telegraphie von größter Wichtigkeit werden sollte. Seine Einrichtung[1]) ist aus Fig. 418 ersichtlich. *M* ist die Spule, welche, wenn sie ein Strom durchfließt, die Nadel *ab* ablenkt. Diese trägt am einen Ende eine Kugel, am anderen eine kleine Gabel. So lange in *M* kein Strom vorhanden, steht die Nadel horizontal, die Enden der Gabel *a* befinden sich über zwei Quecksilbernäpfchen. In diese tauchen sie ein, sobald die Stromwirkung das Ende *a* der Nadel herabdrückt und schließen dadurch den Strom der Batterie *B*.

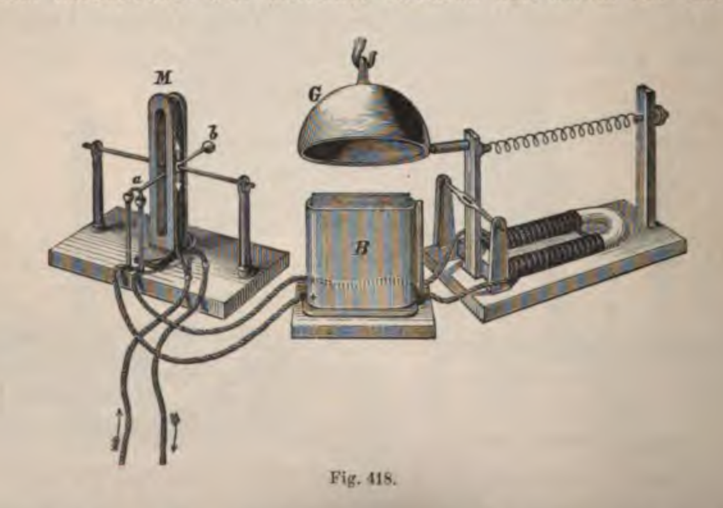


Fig. 418.

Dadurch wird der rechts sichtbare horizontale Elektromagnet erregt, welcher, indem er seinen Anker anzieh[illegible] ·dere Ende des den letzteren tragenden Hebels gegen eine [illegible] ·d dann der Strom von *B*

1) Zetzsche, Geschi[illegible]

wieder unterbrochen, so zieht die Spiralfeder das obere Ende des Hebels wieder zurück.

Der Fünfnadeltelegraph besaß fünf Multiplikatoren im Inneren eines Kastens, dessen rautenförmiger Deckel als Zifferblatt mit zwanzig Buchstaben und zehn Ziffern beschrieben war. Es fehlten von den Buchstaben des Alphabets die im Englischen auch durch andere zu ersetzenden *C*, *J*, *Q*, *U* und *X*. Die Multiplikatoren enthielten astatische Nadeln, auf deren Achsen weitere außen sichtbare von möglichst geringem Gewichte befestigt waren. Jede dieser Nadeln war an ihrer unteren Hälfte etwas überlastet und ging so, wenn sie abgelenkt gewesen war, sogleich wieder in ihre aufrechte Lage zurück. Hemmstifte verhinderten sie, zu weit auszuschlagen. Die Zahl der Leitungsdrähte betrug sechs, fünf, die die Zuleitung für die einzelnen Multiplikatoren bildeten, der sechste die gemeinschaftliche Rückleitung. Die telegraphische Übermittelung eines Buchstabens geschah in der Weise, dass immer zwei Nadeln zugleich, aber in entgegengesetztem Sinne, zur Ablenkung gebracht wurden. Der telegraphierte Buchstabe befand sich dann im Durchschnittspunkte der beiden Zeigerrichtungen. Um eine Zahl zu telegraphieren, wurde nur eine Nadel abgelenkt, ihr Zeiger wies dann auf die am Rande des Zifferblattes befindliche Ziffer. Die Leitungsdrähte wurden in einem eisernen Rohre in die Erde verlegt.

Der Fünfnadeltelegraph wurde als erster in England auf der 39 Meilen langen Strecke der Bahn zwischen London und Bristol eingeführt und erwies sich als völlig betriebsfähig. Doch waren seine Herstellungskosten zu hoch. Cooke und Wheatstone suchten ihn deshalb durch den Einnadeltelegraphen zu ersetzen, bei dem nach Gauß' und Webers Vorgang die Ablenkungen der Nadel in dem einen oder anderen Sinne als Elementarzeichen dienten. Bedurften sie zu seiner Bethätigung auch nur eines Leitungsdrahtes, so ging das Telegraphieren doch viel zu langsam, als dass man nicht nach weiteren Verbesserungen gesucht hätte. Solche fanden Cooke und Wheatstone im Zweinadeltelegraphen, bei dem die Bilder, welche die gleichzeitig abgelenkten Nadeln gaben, den einzelnen Buchstaben und Zahlen entsprachen.

5. Morse. Zeiger- und Schreibtelegraph.

Dem Nadeltelegraphen haftete die Unvollkommenheit an, dass der zu telegraphierende Buchstabe nicht direkt bezeichnet oder das ihn gebende Bild fixiert wurde, so dass der Erscheinungen Flucht es oft zu rasch verwischte, ein einmal gemachter Fehler in der Auffassung nicht verbessert werden konnte. Dem ersteren Übelstande suchte der Zeigertelegraph, dem letzteren der Schreibtelegraph abzuhelfen.

Einen Zeigertelegraph hatte bereits 1836 Cooke herzustellen versucht, war aber an der Unmöglichkeit gescheitert, zwei Scheiben in gleichmäßiger

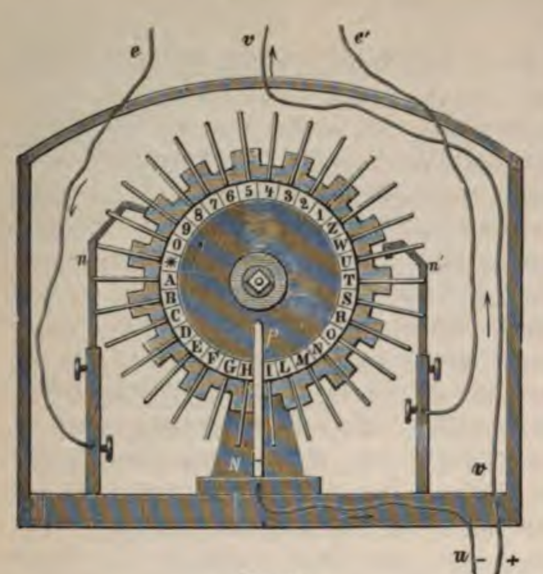
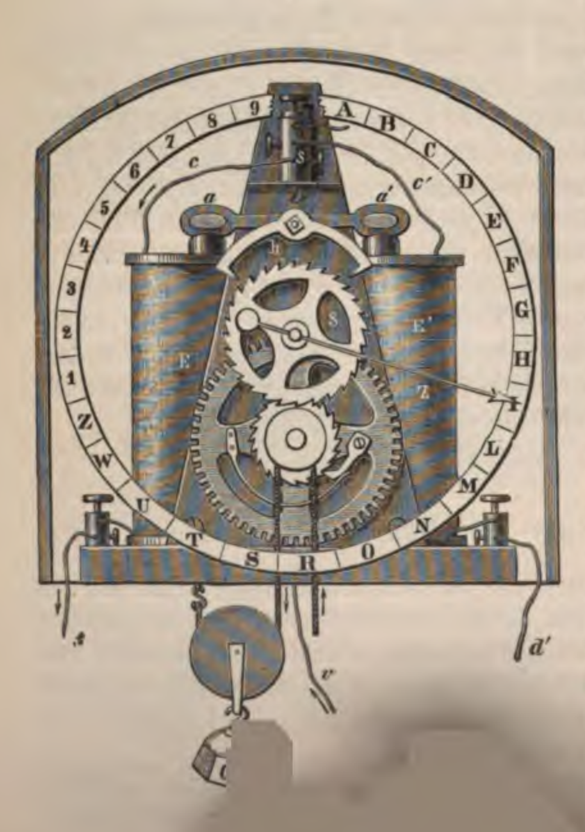


Fig. 419.



Drehung zu erhalten. Erst der 1839 von Wheatstone erfundene erwies sich als betriebsfähig. Er unterschied sich von den Nadeltelegraphen dadurch, dass bei ihm nicht die Ablenkung der Nadel durch den Strom, sondern ein Elektromagnet benutzt wurde, den man beliebig magnetisch und wieder unmagnetisch machen konnte, und kam hierin mit dem Schreibtelegraphen überein.

Wheatstones Zeigertelegraph zeigen die Figuren 419 und 420, jene den Geber, diese den Empfänger. Der Geber besteht aus einer um eine horizontale Achse mittels Handhaben drehbaren Metallscheibe *P*, welche am Rande mit 15 Zähnen versehen ist und an ihrer vorderen Fläche die dreißig zu telegraphierenden Buchstaben und Zahlzeichen trägt. Durch den bei *P* an ihr mit scharfer Reibung anliegenden Messingstab *PN* und den Leitungsdraht *u* steht die Scheibe mit dem negativen Pole einer Batterie in Verbindung, deren positiver Draht *vv* zum Empfänger geht. Zu diesem gehen noch die beiden weiteren Drähte *e* und *e'*, die von den mit verschiebbaren Kontakthaken *n* und *n'* versehenen Ständern ausgehen. Die Haken werden so gestellt, dass, wenn der eine

gerade auf einem Zahne aufliegt, der andere sich in einer Lücke befindet. Durch jenen ist dann der Stromkreis der Batterie geschlossen.

Ganz anders ist der Empfänger eingerichtet. Er besitzt zwei Elektromagnete E und E', deren Anker aa' auf seiner Achse die Hemmung h trägt, welche in das Steigrad S eingreift und es für gewöhnlich hindert, dem Zuge des Gewichtes G folgend, den auf seiner Achse sitzenden Zeiger vor dem dieselben Zeichen, wie sie das Rad P des Gebers aufweist, tragenden Ring herumzuführen. Der von der Batterie kommende positive Draht vv ist zu der Klemmschraube s geleitet, wohin auch die bei d und d' eintretenden Drähte c und c' gehen, nachdem sie die Elektromagnete E und E' durchlaufen haben. Die Wirkungsweise des Apparates ist nun die, dass durch die Kontakthaken der Strom abwechselnd um E und um E' geschickt wird und so abwechselnd die Enden a und a' angezogen werden. Jedem Wechsel der Stellung entspricht aber ein Hindurchgehen der Hemmung durch die Lage, in der ein Zahn von S vorbeigleiten kann. So oft also ein Zahn an n vorübergeht, wird der Strom über E geschlossen, sodann, während die Lücke folgt, also Kontakt bei n' eintritt, über E'. Jeder dieser Stromschlüsse bewirkt also ein Fortrücken des Zeigers Z um einen Buchstaben. Um den Telegraphen zu benutzen, hat man nur den Stern zwischen A und O beim Geber auf PN zu stellen und den Zeiger des Empfängers auf O zu rücken, also ihm eine senkrecht nach oben zeigende Lage zu geben, um sicher zu sein, dass jedesmal, wenn man einen Buchstaben auf den Stab P des Gebers gestellt hat, der Zeiger des Empfängers auf denselben Buchstaben zeigt.

Wheatstone hat später den Zeigertelegraphen noch sehr vervollkommnet und er ist vielfach, auch an deutschen Bahnen, in Benutzung gewesen. Jetzt ist er wohl überall von dem Schreibtelegraphen verdrängt, der ihn an Einfachheit, Sicherheit der Wirkung und darin übertrifft, dass er die Depesche selbst aufzeichnet.

Der Erfinder des Schreibtelegraphen ist der amerikanische Maler Morse (1791—1872). Auf einer Kunstreise in Europa hatte er 1832 von den dortigen Bestrebungen zur Herstellung eines Telegraphen Kunde erhalten und benutzte nun die Rückfahrt nach Amerika zu Versuchen, das Problem auch auf seine Weise zu lösen. Seine ersten Versuche lieferten kein genügendes Ergebnis, aber mit seltener Beharrlichkeit verfolgte er sein Ziel, und der von ihm erfundene Telegraph ist jetzt der weitaus verbreitetste. Er war, wie Fig. 421, S. 424, zeigt, aus einer Malerstaffelei hergestellt. In der Mitte ihrer mittleren Querstange lag horizontal ein Elektromagnet E, welchen die Batterie B bethätigte. Der Anker des Elektromagneten war an dem an der obersten Querstange der Staffelei aufgehängten Pendel FF befestigt, und der Schreibstift G, welchen das Pendel trug, beschrieb, so lange es in Ruhe war, eine gerade Linie auf dem Papierstreifen P, welcher durch die Rolle N gegen den Stift gedrückt und von der Rolle H dadurch abgewickelt wurde, dass die Rolle L, über welche es gezogen

war, von dem vom Gewichte Q getriebenen Uhrwerke W in Bewegung gesetzt wurde. Wurde nun der Elektromagnet erregt, so zog er das Pendel gegen sich hin und der Schreibstift zog, wenn er erregt blieb, eine Linie auf den Papierstreifen, welche der früheren zwar parallel, aber gegen sie

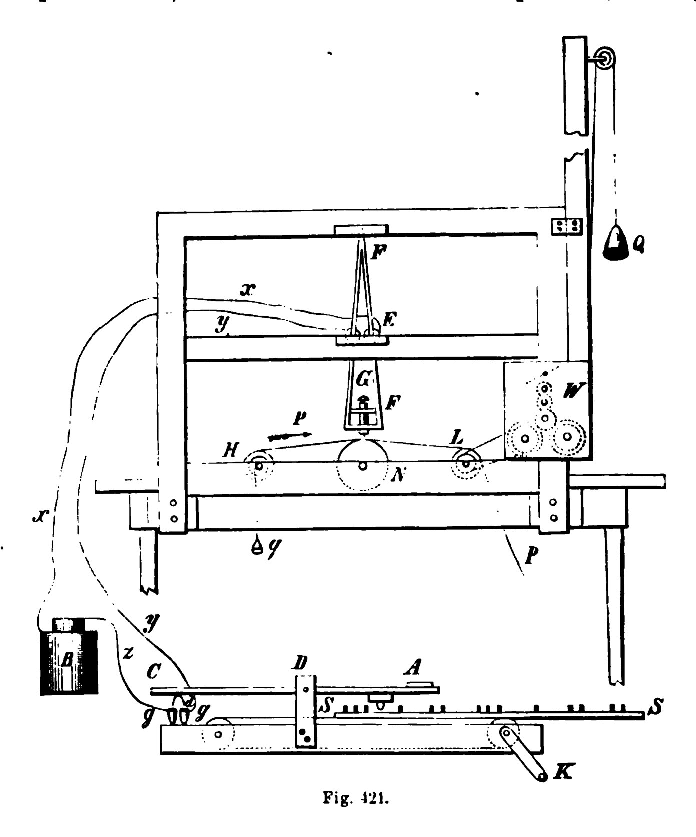


Fig. 421.

um einen kleinen Abstand verschoben war. Wurde nun der Strom abwechselnd unterbrochen und wieder geschlossen, so beschrieb der Stift Linien wie die, welche in Fig. 422 gezeichnet sind. Dauerte der Stromschluss nur einen Augenblick, so erhielt man eine Spitze, dauerte er länger,

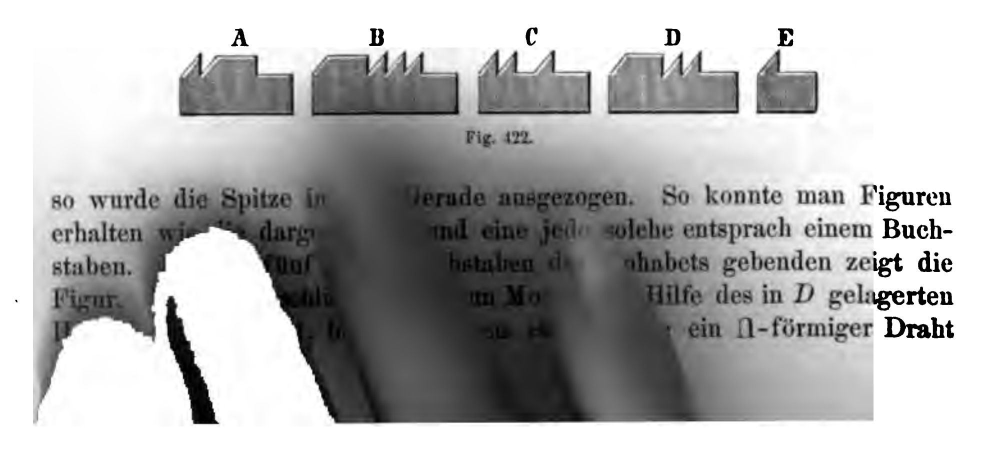


Fig. 422.

so wurde die Spitze [illegible] Gerade ausgezogen. So konnte man Figuren erhalten wie [illegible] und eine jede solche entsprach einem Buchstaben. [illegible] Buchstaben [illegible] gebenden zeigt die Figur. [illegible] Hilfe des in D gelagerten [illegible] ein ∩-förmiger Draht

d befestigt war, welcher beim Eintauchen in die Quecksilbernäpfchen *gg* den Strom schloss, den Elektromagnet erregte. Um Depeschen zu geben, wurden auf den Stab *SS* Ansätze angebracht, welche den unterhalb *AD* befindlichen Stift hoben und, wenn der Stab mittels der Kurbel *K*, die ein ihn tragendes, um zwei Rollen gespanntes Band ohne Ende in Bewegung setzte, verschoben wurde, in den gewünschten Zwischenräumen den Strom schlossen und wieder unterbrachen.

Der Apparat zeigt bereits, allerdings in noch wenig verarbeiteter Form, die Teile des Schreibapparates, wie er jetzt überall im Gebrauche ist. Durch unausgesetztes Weiterarbeiten gelangte aber **Morse** auch bereits zu dieser, und Fig. 423 zeigt den Telegraph, welcher 1843 auf der Bahn zwischen Washington und Baltimore zur Verwendung kam[1]). Bei ihm steht der Elektromagnet *HH* senkrecht auf seiner Grundplatte *AB*. Sein

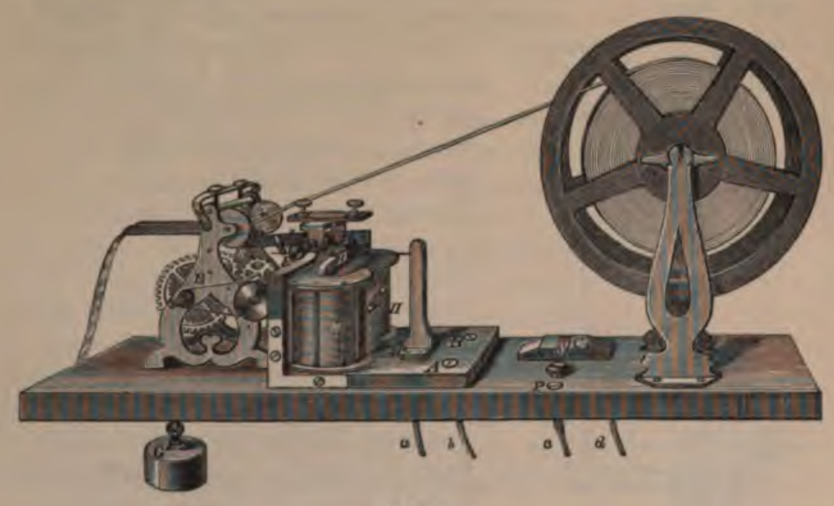


Fig. 423.

Anker bildet das eine Ende des um die Achse *E* drehbaren, am anderen Ende mit einem Stahlstifte versehenen Hebels, welcher Stahlstift durch Erregung des Magneten gegen den Papierstreifen gedrückt wird und hier die beiden Elementarstreifen, Striche oder Punkte, einpresst. Den längeren oder kürzeren Stromschluss aber bewirkte der einfach gestaltete Schlüssel oder Taster *PS*.

1) **Zetzsche**, a. a. O. Fig. 50. S. 135.

Daniell und das erste konstante Element.

Mit der Vervollkommnung der Telegraphenapparate ging das Bedürfnis nach konstanten galvanischen Elementen Hand in Hand. Um solche zu erhalten, musste die Polarisation vermieden werden. Der erste, der dies durch Anwendung zweier, mittels einer porösen Thonzelle geschiedenen Elementenkammern zu erreichen suchte, war Becquerel, der zu diesem Behufe 1836 seine Sauerstoffkette zusammenstellte. Er erreichte aber damit nicht den gewünschten Erfolg und so war die Kette, die in demselben Jahre Daniell ins Leben rief, die erste, welche einen wirklich konstanten Strom lieferte[1]). Die ursprüngliche Form seines Elementes ist aus Fig. 424 ersichtlich, die es im Durchschnitte darstellt. Das äußere Gefäß war ein mit Kupfervitriollösung gefüllter Kupfercylinder, das innere aus einer Ochsengurgel gebildete enthielt verdünnte Schwefelsäure, in welche ein Zinkstab tauchte. Das Kupfergefäß hatte unten eine kreisrunde Öffnung, in welche ein Kork passte, durch den ein Heberrohr hindurchgesteckt war. Da die Ochsengurgel über den Kork gezogen war, so stand der Heber mit dem inneren Raume in Verbindung und konnte dazu dienen, die auf dessen Boden sich begebende Zinkvitriollösung abzuziehen. Die Verbindungen mit den Drähten geschah noch durch Quecksilbernäpfchen, die bequemeren Klemmschrauben führte erst 1840 Poggendorff ein. Die Heber einer Anzahl Elemente ließ Daniell in ein gemeinschaftliches Gefäß münden.

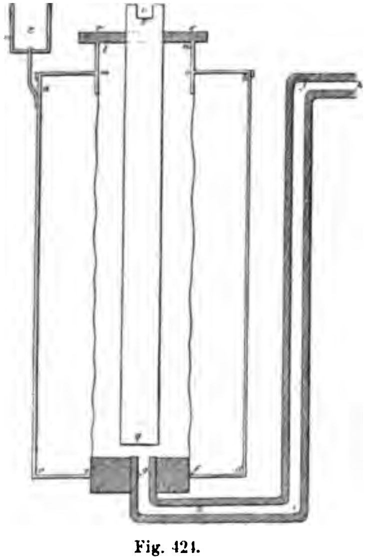


Fig. 424.

Er wollte dreierlei mit seiner Kette erreichen: 1. Die Zinkfläche möglichst klein zu machen; 2. das gebildete Zinkoxyd, das für die Wirkung der Batterie schädlich ist, entfernen; und 3. das am Kupfer frei werdende Wasserstoffgas ohne Fällung einer das Metall verschlechternden Substanz absorbieren.

Zur Erreichung des ersten Zweckes wurde die amalgamierte Zinkstange so klein genommen, dass ihre Oberfläche nicht mehr als 10 Quadratzoll hielt, während die Innenfläche des Kupfercylinders bis nahe 72 Quadratzoll betrug.

Um das gebildete Zinkoxyd (Zinksalz) zu entfernen, war über der inneren Kammer ein Trichter befestigt, aus welchem fortwährend frische

1) Daniell, Philosophical Transactions. 1836. S. 107. Poggendorffs Annalen. 1837. Bd. 42. S. 263.

Säure in abgepasster Menge zufloss, während die schwerere Lösung des Zinkoxydes in demselben Maße am Boden durch den Heber abfloss.

Um endlich das Wasserstoffgas zu absorbieren, wurde der Raum zwischen der Hautröhre und dem Cylinder mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd gefüllt.

Diese Batterie, richtig konstruiert, entwickelte durchaus kein Gas, weder am Zink, noch am Kupfer, weder vor noch nach der Schließung. Am Kupfer erschien kein Wasserstoff. sondern statt desselben ein schöner roter Überzug von reinem Kupfer, so dass die Fläche dieses Metalles fortwährend erneuert wurde. Sowie aber ein Voltameter in den Kreis eingeschlossen ward, zeigte sich darin eine sehr lebhafte Gasentwickelung. Sie war auch weit stetiger und andauernder, als bei gewöhnlichen Batterien, aber dennoch war eine allmähliche, wenn auch langsame Abnahme zu spüren, wahrscheinlich, weil infolge der Fällung des Kupfers die Kupfervitriollösung schwächer und weniger leitend wurde.

Dieser geringen Unvollkommenheit half Daniell leicht ab, indem er, wie Fig. 425 zeigt, am oberen Rande des Kupfercylinders ein ringförmiges kupfernes Gefäß mit durchlöchertem Boden anbrachte, dies mit gestoßenem Kupfervitriol füllte und die Flüssigkeit im Kupfercylinder so hoch hielt, dass sie durch den durchlöcherten Boden in das Gefäß hereintrat. Sobald nun durch die Thätigkeit des Elementes die Kupfervitriollösung verdünnter wurde, löste sich neues Salz auf und die Konzentration der Lösung blieb dieselbe. So erreichte Daniell, dass der Strom seiner Kette sechs Stunden lang seine Stärke unverändert beibehielt.

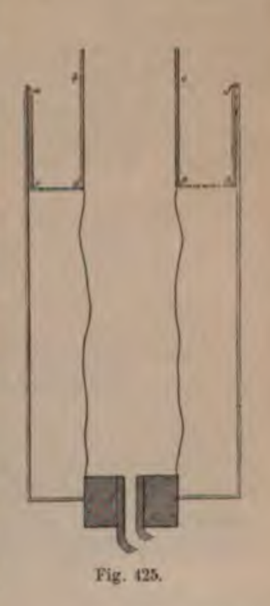


Fig. 425.

Diese Elemente sind auch jetzt noch im Gebrauche, mit ihnen schließen wir an die Gegenwart an. Somit hat unsere Betrachtung abzubrechen. Die übrigen Teile der Physik, die Mechanik, die Lehre von der Wärme und vom Lichte hatten wir nicht weiter wie bis zum Anfange des 19. Jahrhunderts verfolgen zu sollen geglaubt. Nicht als ob in diesem nicht ebenso riesenhafte Fortschritte gemacht worden wären wie in der Elektrizitätslehre, der experimentelle Apparat aber, den sie brauchten, war entweder nicht so, dass er neue, geschichtlich merkwürdige Apparate lieferte, oder es werden die angewendeten Apparate auch jetzt noch benutzt. Unsere Betrachtungen galten aber nur der Entwickelung der physikalischen Experimentierkunst, sie hatten zu schildern, wie man zu den Apparaten der Gegenwart gekommen ist, haben aber nicht auf diese und deren Leistungen einzugehen.

Sachregister.

Namenregister.

Verbesserungen.

S. 76 Z. 11 von unten lies Theodorich statt Theoderich.
S. 330 Z. 8 » Hausen » Hansen.
S. 368 Z. 1 » 1804 » 1801.

Druck v[illegible] [illegible]eipzig.



